DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DEL HUMO DE POLÍMEROS EN QUEMA Y DESCOMPOSICIÓN BAJO LA NORMA ASTM D2843/1999

JUAN DIEGO VALENCIA ESCARRIA

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

PEREIRA

2016

DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DEL HUMO DE POLÍMEROS EN QUEMA Y DESCOMPOSICIÓN BAJO LA NORMA ASTM D2843/1999

JUAN DIEGO VALENCIA ESCARRIA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

MANUEL PINZÓN CANDELARIO

Ingeniero Metalúrgico y de materiales

UNIVERSIDAD TECNOLÓGIA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2016

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Ciudad y fecha.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo de este proyecto se contó con la ayuda de muchas personas que sin interés alguno decidieron colaborar para que se cumplieran los objetivos.

A mis padres que siempre estuvieron pendientes de mí, y me dieron fortaleza para seguir adelante durante toda la carrera, y a la hora de hacer este proyecto siempre me brindaron el apoyo.

A los docentes de la universidad tecnológica de Pereira por brindarme su conocimiento, a mi director de proyecto el ingeniero Manuel Pinzón, y al Ingeniero Giancarlo Daraviña que siempre me brindó su ayuda para culminar este proceso.

A mis amigos y compañeros de la universidad, que de alguna manera fueron partícipes de mi desarrollo como ingeniero y que me dieron ideas para continuar con el proceso del proyecto.

Y a todas las demás personas que dieron su granito de arena, sea con una palabra de aliento o simplemente se tomaron el tiempo para dar una recomendación, familiares y amigos, personas ajenas a la profesión y compañeros ya ingenieros. Muchas gracias a que todo esto sea posible.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

Figura 1. Gege

LISTA DE ANEXOS

RESUMEN

En este proyecto se pretende diseñar un sistema capaz de medir la densidad de humos mediante la quema y descomposición de polímeros basado en equipos del mismo tipo que se encuentran en el mercado (Anexo G) cumpliendo con los parámetros dictados por la norma ASTM D 2843-99 "*Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Descomposition of Plastics*". Esta norma ha sido aprobada como el método estándar para ensayos enfocados en mediciones de densidades de humo de polímeros y no aplica para ser utilizada en la medición de densidades de elementos diferentes a polímeros debido a que las condiciones de combustión varían significativamente.

El diseño se realizará bajo los estándares de dimensiones establecidas por la norma ASTMD 2843-99 la cual consta de una serie de elementos como lo son bandejas de soporte para el polímero, un temporizador, un quemador conectado a un tanque de propano ubicado fuera de la cámara, un fotómetro encargado de la medición de luz entrante y un bombillo.

El funcionamiento del dispositivo se basa en la quema y descomposición de un polímero bajo condiciones controladas en el laboratorio, se ubica una muestra del polímero a estudiar con unas especificaciones y medidas estandarizadas por la norma sobre una placa ubicada en la parte inferior del aparato, la cual posteriormente será sometida a combustión con el quemador de gas, permitiendo así la generación de humos residuales en un tiempo determinado y así poder medir la cantidad de oscuridad que produce este humo sometido a combustión, dando una medida de las características del polímero y su densidad.

INTRODUCCIÓN

Con la evolución en la tecnología, cada día se hace un descubrimiento nuevo, y en el caso de los polímeros se ha estado innovando desde que se halló la forma de hacer materiales sintéticos con propiedades y capacidades similares a las de elementos ya existentes. Es por eso que se han venido adelantando estudios enfocados en estos elementos, dándoles así a los científicos e ingenieros mayor conocimiento acerca de sus cualidades y usos. El diseño de este sistema está hecho estrictamente para conocer la densidad de humos, lo cual es de suma importancia en ámbitos laborales donde se esté en contacto con polímeros que puedan ser quemados o descompuestos por accidente en un lugar específico y llegar a causar problemas a establecimientos, personas u otros seres vivos que se encuentren en el entorno, provocando intoxicación, enfermedades y hasta la muerte. Además de las secuelas que afectarán al medio ambiente con la polución generada que con el tiempo terminará degradando la vida en nuestro planeta.

Con esta prueba se busca conocer de manera apropiada las propiedades de diferentes polímeros al ser expuestos a descomposición o quema, además de mostrar el riesgo que este conlleva y clasificar dichos polímeros teniendo en cuenta la densidad del humo generado.

La aplicación de este método será de gran utilidad para empresas manufactureras, fábricas, y sitios donde se esté trabajando con polímeros o se utilice como materia prima, ayudando de una manera notable a reducir el posible riesgo generado. Además en el entorno universitario podrá ser utilizado para pruebas de algunas asignaturas, donde los estudiantes y profesores harán uso del dispositivo de manera controlada en el laboratorio, incentivando el desarrollo de los aspirantes para mejorar sus conocimientos en su futuro como ingenieros siendo pioneros en Colombia e incluso en la región en el uso de dispositivos capaces de cuantificar la densidad de humo, pudiendo prestar sus servicios a la industria regional y adicionalmente generando una fuente de ingreso a la universidad.

Este proyecto es de una gran importancia en diversos campos, ya que la implementación del equipo de medición de humos mencionado anteriormente abarcará aspectos de materiales, diseño y consideraciones térmicas, en las cuales el programa de Ingeniería Mecánica de la UTP presenta fortalezas académicas; dando así un importante fruto en proyectos de un gran aporte para la ciencia e investigación, como también para la docencia y futuros servicios a la industria, además de la reducción en los costos de fabricación comparado con dispositivos similares que cumplen la misma función (anexo D y H).

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema para medir la densidad del humo de polímeros en quema y descomposición según la norma ASTM D2843-99

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar variables implicadas en la elaboración, tanto cuantitativa como cualitativa basados en la norma.
- Realizar cálculos necesarios para un diseño fiable y seguro, teniendo en cuenta que debe cumplir con parámetros dados por la norma.
- Determinar qué materiales e instrumentos se utilizarán para hacer este diseño confiable, resistente y capaz de cumplir a cabalidad su función de medir la densidad del humo residual de polímeros.
- Elaborar los manuales de operación, seguridad industrial, mantenimiento y guía de laboratorio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INFORMACION SOBRE FLAMABILIDAD Y COMBUSTIÓN

Para este proyecto es muy importante tener claros los conceptos de flamabilidad y combustión, ya que en el momento del muestreo se observará una llama en el interior de la cámara principal. En la actualidad existen métodos utilizados para medir la cantidad de luz, la cantidad de humo y su densidad, propiedades de la combustión y muchas otras características asociadas con la aplicación mencionada. Por ejemplo para determinar las características al quemar superficies de materiales utilizados para la construcción de edificios se usa la norma ASTM E84, para la medición de densidad de humos generados por solidos se utiliza la norma ASTM E 662, en el caso de ser necesario la determinación del calor y la cantidad de humo visible se tiene en cuenta la norma ASTM E 906 y así mismo una cantidad de parámetros que la misma norma propone serán tenidos en cuenta a lo largo de este trabajo para el cual como ya se mencionó se utilizara la norma ASTM D2843 que tiene como objetivo utilizar en conjunto las bases de las otras normas y poder crear un dispositivo con la capacidad de cuantificar la densidad del humo generado en la quema o descomposición de polímeros.

2.1.1 El punto de inflamabilidad. Se define como el conjunto de condiciones de entorno en que una sustancia combustible inflamable, está en condiciones de iniciar una combustión si se le aplica una fuente de calor a suficiente temperatura, llegando al punto de ignición. La diferencia entre punto de inflamabilidad y punto de ignición, es que en el primero, el combustible está en condiciones de inflamarse, pero le falta el calor de ignición. Una vez retirada la fuente de calor externa pueden ocurrir dos cosas: que se mantenga la combustión iniciada, o que se apague el fuego por sí solo.

Si se consideran unas condiciones normales de presión (presión atmosférica normal de 101,3 kPa), esas condiciones se reducen a una temperatura mínima y una proporción determinada de vapor de combustible en el aire ambiente, que puede darse en una pequeña parte del mismo.

Son importantes tanto la temperatura como la mezcla. De hecho la temperatura puede ser relativamente baja, la mayoría de las veces inferior a las normales en el ambiente, pero a esa temperatura los combustibles líquidos empiezan a desprender vapores que, al mezclarse con el oxígeno del aire u otro comburente, pueden dar las condiciones, para que cualquier chispa que alcance la temperatura de ignición necesaria, inicie el fuego. Entre estas condiciones es fundamental la proporción de los gases con el aire y, tanto si la proporción de gases es escasa, como si es excesiva, no se producirá la ignición.

La diferencia con el punto de ignición es que en ese caso se ha producido ya la inflamación, es decir, se ha aplicado el calor de ignición.

Para medir el punto de inflamabilidad se usa el aparato de Pensky-Martens, en este método la muestra es calentada a velocidad constante y una llama de prueba es aplicada a intervalos regulares. La parte líquida y los vapores generados en la muestra son agitados a la velocidad establecida por el método. El punto de inflamación es la temperatura más baja, corregida por presión barométrica, a la cual la llama de prueba hace que los vapores de la muestra se enciendan.

Para el Caso de los polímeros al ser solidos compuestos por moléculas que contienen carbono, es posible que lleguen a ser inflamables, es por eso que en este método se asumirá que habrá una llama generada por un quemador de gas la cual hará subir la temperatura del polímero hasta que éste se encienda y así poder completarla prueba y medir la densidad de los humos.

2.1.2 La Combustión[1]. Se define en el diccionario de la Real academia como el hecho de arder o quemarse, pero entrando un poco más a fondo, La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego, u otros.

En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente), generalmente el oxígeno en forma de O2 gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión.

Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono (CO2) y el agua, el dióxido de azufre (SO2) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NOx), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo de la presión.

En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono (CO). Además, puede generarse carbón.

El proceso de destruir materiales por combustión se conoce como incineración.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición, que se define como la temperatura, en °C y a 1 atm (1013 hPa) de presión, a la que los vapores de un combustible arden espontáneamente.

La temperatura de inflamación, en 0°C y a 1 atm, es aquella a la que, una vez encendidos los vapores del combustible, estos continúan por sí mismos el proceso de combustión

[1] Felix esperanza, El fuego o combustión. Pag 15.

2.2 INFORMACIÓN SOBRE LOS POLÍMEROS[3]

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de moléculas ms pequeñas llamadas monómeros. El almidón la celulosa la seda y el ADN son ejemplos de polímeros naturales, entre los más comunes de estos y entre los polímeros sintéticos encontramos el nailon, el polietileno y la baquelita. En química orgánica, la reacción por la cual se sintetiza un polímero a partir de sus monómeros se denomina polimerización. Según el mecanismo por el cual se produce la reacción de polimerización para dar lugar al polímero, esta se clasifica como "polimerización por pasos" o como "polimerización en cadena". En cualquier caso, el tamaño de la cadena dependerá de parámetros como la temperatura o el tiempo de reacción, teniendo cada cadena un tamaño distinto y, por tanto, una masa molecular distinta, de ahí que se hable de masa promedio del polímero. [4]

Los polímeros se pueden clasificar en tres grandes grupos como son los termoestables, termoplásticos y elastómeros. Los termoplásticos se ablandan con el calor, poseen grandes cadenas moleculares lineales y ramificadas, poseen gran ductilidad y conformidad al ser calentados; los polímeros termoestables son más resistentes pero a su vez son frágiles ya que poseen cadenas moleculares rígidas fuertemente enlazadas.

Los polímeros Elastómeros es una palabra que significa simplemente "caucho". Entre los elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el poliisobutileno, y los poliuretanos. Lo particular de los elastómeros es que pueden ser estirados hasta muchas veces sus propias longitudes, para luego recuperar su forma original sin una deformación permanente.

2.2.1 Polímeros termoestables. Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Es un material compacto y duro, su fusión no es posible. Insolubles para la mayoría de los solventes, encuentran aplicación en entornos de mucho calor, pues no se ablandan y se carbonizan a altas temperaturas.

Esto se debe a su estructura molecular, de forma reticular tridimensional, que constituye una red con enlaces transversales. La formación de estos enlaces es activada por el grado de calor, el tipo y cantidad de catalizadores y la proporción de formaldehido en la preparada base.

---

[3] http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf

[4] Química Física Macromolecular I. Issa Katime. Servicio Editorial UPV/EHU. Bilbao, 1994.

Tabla 1. Características de algunos polímeros termoestables más comunes.

Nombre	**Formación**	**Aplicación y Características**
Resinas Fenólicas	Su nombre común es Bakelitas, se forman por policondensación de los fenoles (ácido fenólico o fenol) y el formaldehido o formol. Este último es el estabilizador de la reacción. Su proporción en la solución determina si el material final es termoplástico o termoestable.	Aislante Eléctrico: Resistencia al Arco eléctrico. Resistencia al calor, la humedad, impacto y tracción. Incombustible e infusible (No se funde): Barnices, Aislantes Adhesivos Buena rigidez dieléctrica. Posee colores oscuros (Negro o Gris).
Resinas de Poliéster	Se obtienen por poliesterificación de poliácidos con polialcoholes.	Elevada rigidez dieléctrica. Buena resistencia a las corrientes de fuga superficiales. Buena resistencia a la humedad. Buena resistencia a los disolventes. Buena resistencia al arco eléctrico. Arden con dificultad y con un humo muy Negro.
Resinas Ureicas	Se obtienen por policondensación de la urea con el formaldehido.	Similares a las bakelitas. Pueden colorearse. Ventajas: resistencia muy elevada a las corrientes de fuga superficiales. Desventajas: Menor resistencia a la humedad, menor estabilidad dimensional. Se usan en: Paneles aislantes, Adhesivos
Poliuretano	Se crea a partir de la unión de polioles e Isocianatos, estos últimos peligrosos al contacto con la piel; por lo general el poliol se almacenan en tanques de color azul y el isocianato en tanques de color naranja	Altamente resistentes al desgaste. Inalterables a los agentes químicos (solventes, ácidos, etc.) Aislamiento térmico y eléctrico (cables, alambres, etc.) Aislamiento sonoro. Se usan en: Planchas para la construcción de carrocerías (automotores, vagones, etc.) Adhesivos uretánicos y Lacas.
Resinas de Melamina	Resinas de Melamina	Color rojizo o castaño. Alto punto de reblandecimiento. Escasa fluidez. Insolubles a los disolventes comunes. Poco factor de pérdidas a alta frecuencia. Alta resistencia mecánica, aislamiento eléctrico y rigidez dieléctrica. Se usan en: el campo de las comunicaciones, como material para los equipos de radiofonía y componentes de televisores, debido al escaso factor de pérdidas a alta frecuencia.
Resinas Epóxicas	Se obtienen por reacción del difenilolpropano y la epiclorhidrina. Según las cantidades en que se adicionan los constituyentes y las condiciones en que se efectúan las reacciones se obtienen resinas sólidas, viscosas o líquidas.	No se desprenden gases durante su endurecimiento. El material no se contrae una vez terminado el proceso de endurecimiento. Se emplean puras o diluidas con carga. Una vez endurecidas, se adhieren a casi todos los cuerpos. Se utilizan a temperatura ambiente o algo más elevada. Buena resistencia mecánica Buena resistencia a los agentes químicos. Se usan en: Revestimiento e impregnación aislante (por ejemplo, en los bobinados de los motores) Adhesivos. Se considera que los adhesivos epóxicos son, después de los naturales, los más consumidos en el mundo, en cualquiera de sus formas y aplicaciones. Barnices aislantes Recubrimientos varios: pantallas metálicas, elementos activos de máquinas eléctricas, piezas de conexión eléctricas, etc. Uno de sus usos más difundidos es la construcción con este material de transformadores de medida para tensiones de hasta 80 Kv.

Fuente: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf

2.2.2 Polímeros elastómeros. Los elastómeros son sustancias poliméricas que poseen la particularidad que se pueden deformar en gran medida sin que lleguen a la zona de deformación plástica. Son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de moléculas llamados monómeros, que están unidos formando grandes cadenas, las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas.

Cuando son estirados, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman el aspecto de una distribución cristalina, pero cuando se las deja de tensionar retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas. Esta forma de volver a su estado natural de desorden distingue a los elastómeros de los polímeros termoestables, los cuales son duros y frágiles. Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el poliisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el poliisobutileno y los poliuretanos.

Tabla 2. Características de algunos elastómeros

Nombre	**Características**	**Usos**
Poliestireno-Butadieno-Estireno, SBS	Es un caucho duro, con un tipo de copolímero llamado copolímero en bloque. Su cadena principal está constituida por tres segmentos. El primero es una larga cadena de poliestireno, el del medio es una cadena de polibutadieno, y el último es otra larga sección de poliestireno.	Se usa para hacer objetos tales como suelas para zapatos, cubiertas de neumáticos, y otros donde la durabilidad sea un factor importante.
Poliisobutileno	Es especial porque es el único caucho impermeable a los gases, es el único caucho que puede mantener el aire por largos períodos. El poliisobutilenoes un polímero vinílico. Se hace a partir del monómero isobutileno, por polimerización vinílica catiónica.	Se utiliza para hacer artefactos como cámaras para neumáticos y balones de básquet.
Polibutadieno	Fue uno de los primeros tipos de elastómeros sintéticos, o caucho, en ser inventados. No fue necesario un gran esfuerzo de imaginación para llegar a él, al igual que el poliisopreno, muy similar al caucho natural. Es adecuado para las aplicaciones que requieren exposición a bajas temperaturas. Muchos polímeros pueden llegar a ser quebradizos a bajas temperaturas debido a un fenómeno llamado transición vítrea.	Los neumáticos se hacen a menudo con mezclas de polibutadieno y de otras clases de caucho. Las correas, mangueras, juntas y otras piezas de Automóvil se hacen de poli butadieno, porque éste tiene mejor resistencia a las bajas temperaturas que otros Elastómeros.

Fuente: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1960_idplasticosr2.pdf

2.2.3 Polímeros termoplásticos. Las resinas termoplásticas son fácilmente conformables al aplicarles temperatura y presión. La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados son bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión, usualmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente.

Variaciones en los esfuerzos mecánicos, es decir fatiga, o condiciones ambientales pueden reducir los márgenes de resistencia del material. Otra característica de estos materiales es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente o por inmersión.

Se diferencian de los termoestables o termo fijos (baquelita, goma vulcanizada) en que éstos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos.

Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.

Cuando se enfrían, partiendo del estado líquido y dependiendo de la temperatura a la cual se expongan durante el proceso de solidificación (aumento o disminución), podrán formarse estructuras sólidas cristalinas o no cristalinas.

Este tipo de polímero está caracterizado por su estructura, está formado por cadenas de hidrocarburos cómo la mayoría de los polímeros, específicamente encontramos cadenas de tipo lineal o ramificadas.

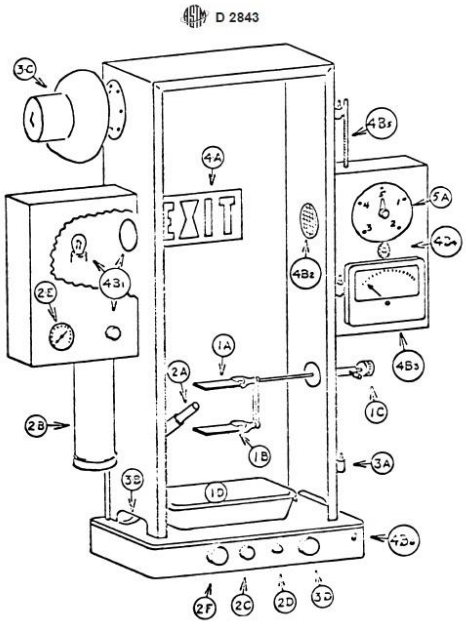
3. DISEÑO

Para este diseño se tomó como base el bosquejo expuesto por la norma ASTM D2843, el cual muestra de una manera básica una posible configuración de los elementos necesarios para hacer la prueba como se muestra en la figura 1

El diseño será basado en su totalidad en los parámetros exigidos por la norma, teniendo en cuenta cada punto de los que se mencionarán a continuación.

Además se respetarán las medidas y valores estipulados y su forma será similar al bosquejo entregado, teniendo en cuenta que es una forma distinta y original creada por el autor de este trabajo.

Figura 1: bosquejo propuesto por la norma



1. Sostén de muestra. A) pantalla de acero inoxidable, b) hoja de asbestos, c) mango de ajuste. d) contenedor de residuos.

2 Ignición. A) Quemador, b) tanque de propano, c) válvula de gas, d) regulador de presión, e) indicador de presión, f) mango posicionador del quemador.

3 Cabina (sin puerta). A) Bisagras, b) Ventilación, c) dámper, d) Control del dámper.

4 Fotómetro. A) sistema visual, b)sistema de medición 1)fuente de luz, 2)celda de bloqueo de luz, 3)medidor de porcentaje, 4) compensador de temperatura, 5) medidor de temperatura.

5 Temporizador.

Fuente: ASTM D 2843.

3.1 VARIABLES

CONDICIONES CUALITATIVAS Y CUANTITATIVAS ESTIPULADAS POR LA NORMA D 2843

3.1.1 Cámara. La cámara de pruebas consiste de un cubo de aluminio, con una puerta de vidrio resistente al calor instalada en una base de dimensiones mayores al cubo, la cual llevará los controles de mando del dispositivo. Esta cámara debe estar cubierta de una protección anticorrosiva ya que algunos de los polímeros utilizados para las pruebas pueden causar daños o deterioro de los materiales. Toda la cámara deberá estar sellada excepto por la parte inferior donde se ubicaran 4 aberturas en cada uno de los lados diseñadas para que entre el aire necesario para la combustión. En uno de sus costados superiores debe llevar instalado un extractor con capacidad para desalojar el humo producido por la combustión después de la prueba y a su vez esta deberá conectarse a un ducto de escape al aire libre en caso de que el dispositivo se encuentre en un área cerrada.

En los lados adyacentes de la cámara se ubicarán dos orificios circulares diseñados para acomodar los instrumentos necesarios para medir la cantidad de luz que atraviesa. A un costado se ubica una fuente de luz y en su opuesto un receptor fotométrico capaz de cuantificar la cantidad de luz recibida.

Para la medición visual, el encargado de la prueba debe colocar en fondo de la cabina un letrero plástico blanco con letras rojas con el enunciado “EXIT”. El fondo blanco permite que se observe a simple vista la llama y sus colores, el humo y las características de quema del material, además de relacionar la vista con los valores medidos.

Las dimensiones estipuladas por la norma para la cámara:

Cámara: Aluminio Calibre 14. Base 300 x 300 mm (12 x 12 in). Altura 790 mm (31 in). Puerta vidrio resistente al calor (refractario).

Soporte de cámara: Base 350 x 400 mm (14 x 16 in). Altura 57 mm (21/4 in)

Aberturas para entrada de aire: Una en cada costado de la base. Area de 25 x 230 mm (1 x 9 in).

Extractor: Capacidad de extracción de 1700 L/min (60 ft3/min). Montaje en un costado superior de la cámara. Debe tener compuerta a la entrada. Debe tener ducto de extracción a la salida.

Agujeros adyacentes: Diámetro de 70 mm (23/4 in). Vidrios ahumados. Centrado a 480 mm (193/4 in) por encima de la base. Fuera de los agujeros se ubican las cajas que contienen el equipo óptico y controles adicionales.

Señal de EXIT: Área de 90 x 150 mm (31/2 x 6 in) Centrado a 480 mm (193/4 in) por encima de la base. Fondo blanco con letras rojas

3.1.2 Soporte de la muestra. Este debe ser de dimensiones mayores a la muestra, de un material resistente al calor y con la característica de dejar pasar parte de la llama directo a la muestra, por eso se recomienda utilizar una malla de acero inoxidable con propiedades de resistencia al calor y al peso de la muestra. Además del soporte deberá colocarse debajo a una distancia determinada una placa de dimensiones similares la cual tiene el propósito de recoger cualquier partícula o gotera que se desprenda de la muestra durante el procedimiento. Estos dos elementos deben ser giratorias y moverse en sincronía al momento de terminar la prueba, Despojando cualquier residuo de la combustión y arrojándolo a un recipiente con agua ubicado en la base de la cabina.

Dimensiones estipuladas por la norma del soporte de muestra.

Soporte: Área de 64 mm cuadrados. Malla de acero inoxidable calibre 0,9 mm (0,035 in). Enmallado de 6 x 6 mm (1/4 x ¼ in). Ubicado 220 mm por encima de la base de la cabina. Centrado en la cabina. Sostenido por una varilla de acero resistente a las condiciones.

Placa de recolección de residuos: Debe estar ubicada 76 mm (3 in) por debajo del soporte de la muestra. Hecha de asbesto.

Recipiente de agua: Preferiblemente rectangular o cuadrado que encaje en la base de la cabina. Profundidad máxima de 50 mm (1,96 in). Llenar aproximadamente hasta la mitad de su capacidad.

3.1.3 Sistema de ignición. El material de muestra debe ser encendido con una llama generada por un quemador de gas propano, el cual operará a unas condiciones de presión, temperatura y aire indicado. El quemador se ubica de tal manera que la llama esté debajo del soporte de la muestra al momento de la prueba y además tenga la posibilidad de movimiento para llevarlo a una posición diferente al momento de encenderlo. Este quemado está conectado a una manguera al exterior de la cámara que conduce directo a un tanque de gas propano a una distancia prudente para evitar accidentes

NOTA: En el manual (Anexo E) se explica el proceso para encender el dispositivo y los riesgos y precauciones que se deben tomar al operar con fuego.

Dimensiones estipuladas por la norma para el quemador: Quemador: Operar con gas Propano. Presión de 276 kPa (40 psi). Orificio de salida 0,13 mm (0,0005 in). Posicionado a 45 grados respecto a la base. El eje del quemador debe estar en una línea que pasa por un punto a 8 mm (3/10 in por encima de la base en una esquina trasera. La boca del quemador debe estar a 260 mm desde el punto de referencia en la parte trasera de la cámara.

3.1.4 Sistema fotométrico. El Sistema fotométrico consta principalmente de una fuente de luz, una celda fotoeléctrica y un medidor de temperatura que son utilizados para medir la proporción de luz que entra por el vidrio ahumado. La fuente de luz se ubica al costado izquierdo de la cámara y se debe dirigir su luz a un punto en la fotocelda en el lado opuesto de cámara. La fuente de luz debe llevar un reflector esférico además de un lente focal que dirija la luz a un punto determinado al lado opuesto de la cámara donde se encuentra la fotocelda.

Otra cámara ubicada al lado derecho de la cámara principal contiene el fotómetro como se muestra en el esquema 1, la cual tiene una cuadricula diseñada para bloquear la luz no deseada en su parte frontal. Esta cuadrícula debe tener acabados en negro mate y tener aberturas al menos dos veces su profundidad por longitud. La corriente producida por la fotocelda se indicará en términos de porcentaje de absorción de luz teniendo en cuenta que la linealidad de la fotocelda decrece al aumentar la temperatura, por esto se debe hacer una compensación teniendo un medidor con dos rangos. El cambio de rango se lleva a cabo disminuyendo a un décimo de su sensibilidad. Cuando el humo se acumula para absorber el 90 por ciento del haz de luz, un interruptor se activa para devolver el medidor a su sensibilidad básica, al hacer esto la escala del medidor será entonces de 90% a 100% en vez de 0 a 100%.

Dimensiones y parámetros estipulados por la norma para el sistema fotométrico: Capacidad de atravesar 300 mm (12 in.). Dimensión de la cámara. El haz de luz debe ser horizontal. La luz debe ir de izquierda a derecha. La fuente de luz debe estar 480mm (19 ¾ in.) encima de la base. La fuente de luz debe ser una lámpara de microscopio No. 1493 de 5,3 a 6,3 V. Reflector esférico. Energía suministrada por un transformador de tensión variable. El lente focal debe ser de 60 a 65 mm (2 ½ in.)

3.1.5 Instrumento de medición. Un necesita de un reloj capaz de medir intervalos de 15 segundos, y si es posible que tenga una alerta Sonora para que el operador del dispositivo sepa cuando ha pasado el tiempo y anote sus observaciones. Un este reloj debe contar con un botón de reset para configurarlo en cero cada que se vaya a empezar una nueva prueba y debe detenerse cuando el quemador no esté en posición de muestra.

3.1.6 Planímetro. Un Planímetro o un software deben ser utilizados para medir el área bajo la curva de absorción de luz.

3.2 MUESTRA

3.2.1 Condiciones de la muestra

1. El tamaño estándar de la muestra debe ser de 25.4 ±0.3 x 25.4 ±0.3 x 6.2 ±0.3 mm (1 ±0.01 x 1 ±0.01 x 1⁄4 ±0.01 in.) Nota: se pueden utilizar Alturas mayores a 6.2 mm y sus dimensiones deben ser reportadas con los valores de densidad de humo.
2. La muestra debe ser lijada, maquinada o cortada en una manera que la superficie quede libre de fibras, grietas o crestas.
3. Cada muestreo consiste de tres muestras

3.2.2 Material de La muestra. En el dispositivo se puede colocar una probeta de cualquier material, sea madera, metal, plástico, caucho o cual sea el elemento que haga combustión, Este se encuentra especialmente diseñado para medir densidades de humos en polímeros. En caso de que se pretenda realizar un experimento con otro material se deben crear tablas apropiadas para la

medición de la densidad del humo de dicho material, además de tomar otro tipo de precauciones teniendo en cuenta las propiedades de combustión del material que se desee probar.

3.3 ACONDICIONAMIENTO

3.3.1 Acondicionamiento de la muestra. La muestra debe estar a 23 ±2°C (73.4 ±3.6°F) y a 50 ±5 % de humedad relativa por no menos de 40 horas antes de la prueba de acuerdo con el proceso A de la norma ASTM D 618 para esos ensayos donde se requiere acondicionamiento. En caso de desacuerdo la muestra debe guardar unas tolerancias de ±1°C (±1.8°F) y ±2 % de humedad relativa.

3.3.2 condiciones del ensayo. El ambiente de laboratorio debe estar en of 23 ±2°C (73.4 ±3.6°F) y 50 ±5 % de humedad relativa, a menos que se especifique lo contrario en los métodos de ensayo. En caso de desacuerdo las tolerancias deben ser 1°C (±1.8°F) y ±2 % en la humedad relativa.

3.4 PROCEDIMIENTO

Para manejar este dispositivo se deben seguir una serie de indicaciones en orden para así poder llevar a cabo las pruebas de una manera correcta. Es necesario tener un previo conocimiento del funcionamiento del aparato, sus precauciones y riesgos indicados en el manual del Usuario.

3.4.1. Proceso estándar

1. Encender la lámpara del fotómetro. La señal de salida y el extractor.
2. Abra el paso de gas, encienda el quemador y ajuste la presión a 276 kPa (40 psi) Advertencia**:** evite fallar al prender el quemador en el primer intento-mirar manual de instrucciones.
3. Ajustar la compensación de temperatura.
4. Ajustar el control de la lámpara a cero por ciento de absorción de luz.
5. Coloque el material de prueba en la superficie del soporte de la muestra de tal manera que la llama del quemador quede justo debajo al iniciar la prueba.
6. Ajustar el cronometro en cero.
7. Apague el extractor, cierre la puerta de la cámara. Gire el quemador a la posición debajo de la muestra e inmediatamente ponga el tiempo a correr en el cronometro.
8. Si es una campana, apague el ventilador de la campana y cierre la puerta de la parte inferior de la campana.
9. Tomar datos del porcentaje de luz absorbida en intervalos de 15 segundos por 4 minutos.
10. Registrar las observaciones durante la realización de la prueba. Incluir el tiempo que toma la muestra para estar completamente en llamas, el tiempo que se demora en apagarse la llama o en consumirse la muestra por completo. El oscurecimiento de la señal de salida por la acumulación de humo y cualquier otra característica general o inusual que observe como fusión, goteo, formación de espuma o carbonización.

11. Al término de la prueba, se enciende el ventilador de escape o extractor para ventilar los productos de combustión de la cámara. (Advertencia - Cabe señalar que, para algunos materiales de los productos de combustión pueden ser tóxicos , y se debe tener cuidado para proteger al operador de los efectos de estos gases . el ventilador debe estar encendido y la compuerta abierta inmediatamente después de que la prueba se completa, todo esto antes de abrir la puerta de la cámara con el fin de eliminar los productos irritantes de la prueba . el extractor de aire se apaga y la compuerta se cierra durante la prueba para prevenir el retorno de aire .)
12. Abrir la puerta y limpiar los depósitos de la combustión del fotómetro, señal de salida, y la puerta de cristal con agua y detergente; quitar cualquier material restante en soporte o reemplazar la el soporte y la lámina de asbesto para la próxima prueba.
13. Realizar cada prueba tres veces.
14. Al principio de cada serie o por lo menos una vez al día, comprobar la absorción de la luz del medidor contra un filtro neutral calibrado con absorción de aproximadamente 50 %. Compruebe el punto de absorción del 100 % contra una placa opaca.

3.4.2 Procedimiento especial

1. Para los materiales que gotean en exceso, un segundo quemador o quemador auxiliar (con el suministro de gas propano por separado) se introduce en la cámara. Ver Fig. 5 de la norma ASTM 2843 y piezas de los quemadores auxiliares.
2. La hoja de asbestos (artículo 1B de la Fig.1 Norma ASTM 2843) puede ser sustituida con una bandeja de acero inoxidable. Esta bandeja tiene una ligera conicidad para permitir que la grasa sea recogida en la parte inferior. Véase el punto 11 de la Fig. 5 de la norma ASTM 2843 y lista de partes para quemador auxiliar.
3. El quemador auxiliar se enciende al mismo tiempo que se enciende el quemador estándar. El quemador auxiliar se hará funcionar a 138 kPa (20 psi) y se colocará de tal manera que su llama se dirija al centro de la bandeja de muestra.

3.4.3 Procedimiento opcional

1. La salida de la fotocelda puede ser registrada en función del tiempo en una gráfica apropiada.
2. Con un medidor sensiblemente adecuado, más de un cambio en los decimales puede usarse para separar las lecturas en un intervalo de humo muy denso.

3.5. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

1. Establecer un promedio de las lecturas a los intervalos de 15 segundos de absorción de la luz para los tres especímenes de cada grupo. Trazar la absorción de la luz contra el tiempo promedio en un papel. Fig. 2 norma ASTM 2843 es una curva simple.
2. Leer la densidad máxima de humo como el punto más alto de la curva.
3. Determinar el humo total producido mediante la medición del área bajo la curva. La densidad del humo representa la cantidad total de humo presente en la cámara para el intervalo de tiempo de 4 min. Medir el humo total producido por el área bajo la curva de absorción de la luz en función del tiempo, dividida por el área total de la gráfica , 0-4 min 0-100 % de absorción de la luz , multiplicado por 100 .

Ejemplo: En el lapso de tiempo de absorción de luz en la Fig. 2 de la norma ASTM 2843(anexo j), la toma se ha hecho usando una regla de 10 mm (0,39 in.) igual a 10 % como la ordenada y 10 mm (0,39 in.) Igual a 0,25 min como la abscisa. El área del gráfico de 4 min es de 16 000 mm2 (24.80 in2). El área bajo la curva determinada es de 12 610 mm2 (19,55 in2). La medición de densidad del humo en %, entonces se calcula de la siguiente manera:

SDR (smoke density rating)= $\left(\frac{12610}{16000}\right)$*100=78,8 % (dimensión en milímetros.)

$$=\left(\frac{19,55}{24,80}\right) * 100 = 78,8\ \%$$ (dimensión en pulgadas)

3.6. REPORTE

Es de suma importancia siempre tener en cuenta los siguientes criterios a la hora de hacer la prueba. Es recomendable hacer una hoja de chequeo con cada uno de los puntos a continuación:

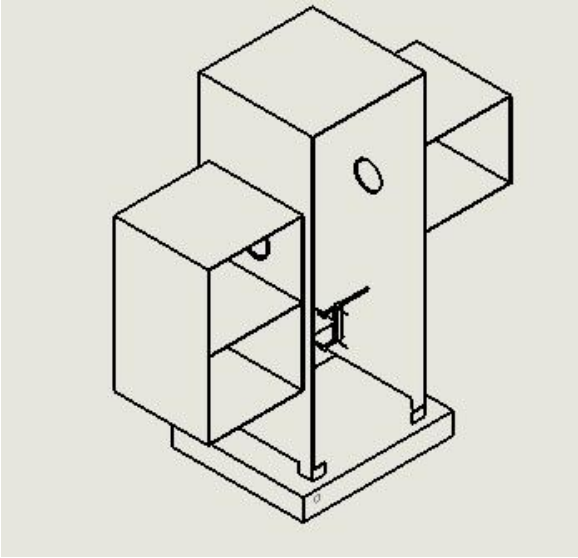
1. Identificación del material.
2. Dimensiones de la muestra.
3. Lecturas de absorción de la luz en intervalos de 15 segundos para cada prueba y sacar su promedio.
4. Diagramas de la media de absorción de luz en función del tiempo.
5. Máxima densidad de humo en la absorción de luz en porcentaje.
6. Área en porcentaje bajo la curva de luz en tiempo de absorción (valoración densidad de humo o SDR).
7. Observaciones sobre el comportamiento de los materiales.
8. Observaciones sobre el oscurecimiento de la señal de salida.
9. Los detalles de cualquier desviación de las especificaciones del método para las pruebas.
10. Advertencia contenida en el la norma D 2843-99, numeral 1.4 que se incorpora en su totalidad en el informe emitido.

3.7 SELECCIÓN DE MATERIALES Y PIEZAS

3.7.1 Cámara, base y contenedores adyacentes

En la figura 2 se muestra la cámara que será utilizada en este caso para la toma de muestras. Para el diseño de la cámara no se tuvo en cuenta la puerta, ya que la norma dice que la puerta debe ser de vidrio resistente al calor. Se da la opción de colocar una puerta de vidrio del tamaño completo de la cara principal teniendo un área de 300x790 mm (respetando el agujero en la parte inferior para la entrada de aire) unido a la puerta mediante bisagras y con una manija para abrir. Otra opción que se tiene en cuenta es hacer un marco de aluminio con las dimensiones indicadas de 300x790 mm y que tenga entre 20 mm y 50 mm de ancho para así tener un área disponible en el centro donde pueda ponerse el vidrio refractario y cuente con la posibilidad de poder ver hacia dentro de la cabina.

Figura 2. Cámara base y contenedores



Fuente: El autor

La base de la cámara se diseña del mismo material de la cámara, puede ser unida a ésta mediante soldadura especializada para aluminio (soldadura TIG, Fusión de material, barra de relleno), de no ser así, podría dañar de forma irreparable las piezas y generar inconvenientes. Para este diseño se propone utilizar la soldadura ya que el dispositivo maneja temperaturas mayores a las ambientales dentro de su cámara, y conociendo las propiedades de los metales de expandirse y contraerse al cambio de temperatura podría traer inconvenientes de desajustes de los componentes en caso de unir las piezas con remaches, tornillos o puntillas. Existe la posibilidad de incluir los controles del dispositivo en esta base, ya sea el regulador de presión de gas, un

interruptor para prender y apagar el ventilador de extracción, accionar el reloj cronometro o cualquier otro mando personalizado. Como también se tienen en cuenta la opción de que cada elemento sea manejado manualmente desde su punto de operación.

Los contenedores adyacentes no son especificados por la norma, pueden tener dimensiones variables, eso sí, con la capacidad de albergar los elementos necesarios para poner en funcionamiento el dispositivo (bombillo, fotocelda, vidrio de enfoque, reflector, etc.). En este caso se diseñaron con unas dimensiones de 200x250 mm con una profundidad de 250 mm. Como se muestra en los planos (anexo F). Estos cajones no deben llevar puerta con transparencias, pues como se sabe el objetivo de este dispositivo es medir cantidades de luz saliente y entrante, al tener puertas de vidrio o plástico parte de la luz se escapará en el emisor de luz y otra parte de la luz del laboratorio entrara al receptor, por lo que las medidas obtenidas no serán aptas para tener en cuenta. Se propone utilizar puertas del mismo aluminio utilizado para la base y la cabina, unido por bisagras del lado contrario al que está en contacto con la cabina.

Para el diseño de las partes mencionadas anteriormente se propone utilizar un aluminio dictado por la norma calibre 14 (2,10 mm o 0,083 in). Se debe conocer que los calibres del aluminio son diferentes a los del acero. En este caso se tuvo en cuenta dos de los aluminios más comerciales que se encuentran actualmente en el mercado como lo son el aluminio 1100 y el aluminio 3003. Las fichas técnicas a continuación mostradas son propiedad de AYRSA, una empresa chilena productora de aluminios y aislantes térmicos.

Aluminio 1100:

La aleación de aluminio AA1100 H14 se caracteriza por tener una alta concentración de aluminio, 99,0 % como mínimo. Siendo más blando, con menor resistencia mecánica y menor resistencia a la corrosión que la aleación AA3003 H14, normalmente es utilizado como una alternativa de menor costo, en la tabla 3 se dan a conocer todas sus propiedades y características.

Tabla 3. Ficha técnica Al 1100 H4.

CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO	
-Buen conductor de calor y de electricidad	-Punto de Fusión: 660 °C
-Buen reflector del calor y de la luz	-Reciclable en un gran porcentaje
-Mala resistencia a yesos, cales y cementos	-Alta resistencia a la corrosión, por la capa superficial
-Sufre corrosión galvánica en contacto con otros metales	muy estable de oxido de aluminio color grisácea.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUIMICAS					
Composición Quimica	Al	Si y Fe	Cu	Mn	Zn
	99,0% mín.	0,95% máx.	0,05% - 0,20%	0,05% máx.	0,10% máx.

Resistencia Mecánica	14,0 – 19,0 KSI para Temple H12	Emisividad	Aluminio Nuevo: 0,05
	16,0 – 21,0 KSI para Temple H14		Aluminio Envejecido: 0,13
Densidad	2,71 grs/cm^3	Norma ASTM B-209	

Fuente: http://www.ayrsa.cl/index.php?modo=listado&cat=2&subcat=36AYRSA

Aluminio 3003: Como se puede ver en su ficha técnica (tabla 4). La aleación de aluminio AA 3003 H14 se caracteriza por tener una mayor concentración de manganeso lo que le da mayor resistencia mecánica, buena resistencia a la corrosión y buena conformación en frio, debido a lo anterior es que esta aleación de aluminio es la que habitualmente se recomienda para los proyectos de aislación térmica o proyectos donde se incluyan altas temperaturas.

Tabla 4. Ficha técnica al 3003.

CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO

-Buen conductor de calor y de electricidad	-Punto de Fusión: 660 °C
-Buen reflector del calor y de la luz	-Reciclable en un gran porcentaje
-Mala resistencia a yesos, cales y cementos	-Alta resistencia a la corrosión, por la capa superficial
-Sufre corrosión galvánica en contacto con otros metales	muy estable de oxido de aluminio color grisácea.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUIMICAS

Composición Quimica	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	
	0,60% Máx.	0,60% Máx.	0,05-0,20%	1,0-1,5%	0,10%	Saldo Al

Resistencia Mecánica	17,0 – 23,0 KSI para Temple H12	Emisividad	Aluminio Nuevo: 0,05
	20,0 – 26,0 KSI para Temple H14		Aluminio Envejecido: 0,13
Densidad	2,73 grs/cm^3	Norma ASTM B-209	

El Aluminio AA3003 H14 tiene una resistencia mecánica 24% mayor que el Aluminio AA1100 H14.

Fuente: http://www.ayrsa.cl/index.php?modo=listado&cat=2&subcat=36

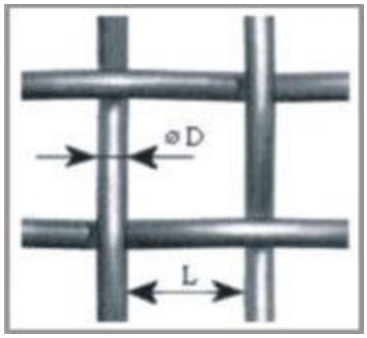
Nota: Estos aluminios pueden ser conseguidos en la zona industrial de Pereira. FUNDALUMINIOS Centro Comercial Metropolitano Bodega 16 Col. Variante Turín la Popa, Dosquebradas, Risaralda C.P. 0057. Colombia.

3.7.2 Varilla de soporte de la muestra. Esta varilla es la encargada de soportar la muestra mientras se hace el proceso de combustión, además de sostener en una ramificación otra placa de asbesto necesaria para evitar la caída de material caliente a la cámara. La varilla debe girar sobre su propio eje al menos 90° para que al terminar la prueba se pueda poner en posición vertical y que los residuos de combustión caigan al contenedor ubicado en la parte inferior de la cámara. Se propone utilizar una varilla de acero circular lisa de diámetro 5 a 10 mm (Anexo A). Las propiedades mecánicas en este elemento no son de mayor importancia ya que el peso de la muestra no es significante para los esfuerzos que puede soportar la varilla. Esta Debe tener una longitud mínima de 118 mm que garantice que la rejilla que sostiene la muestra estará ubicada en todo el centro de la cabina. Adicional a esta longitud, se debe añadir una longitud requerida para que quede por fuera de la cámara y sea manejable manualmente, añadiendo entre 150 y 200 mm y una perilla o mango que no se deslice al contacto con la mano del operario.

3.7.3 Rejilla de soporte de la muestra. La norma pide que la rejilla sea de acero inoxidable con un calibre de 0,9 mm y cuadriculas de 6 mm cuadrados. Debe ir unida por soldadura o unida por un

gancho a la varilla en forma horizontal respecto a la base de la cámara. En la figura 3 se muestra la forma de obtener las especificaciones del enmallado.

Figura 3. Rejilla de soporte de la muestra.



Fuente: http://www.icomallas.com/p-malla-tejida.html

Especificaciones:

Mesh: Número de huecos o pasos de malla por pulgada equivalente a 25,4 milímetros.

$$Mesh = 25,4 / (L+D)$$

D: Diámetro del Alambre.

L: Abertura, distancia entre dos alambres contiguos.

S%: Superficie, porcentaje de área abierta.

$$S\% = 100xL2/(L+D)$$

La empresa ICOLMALLAS[5] se especializa en venta y distribución de mallas de acero y acero inoxidable teniendo en cuenta el Mesh necesario. Que en este caso sería de M: 0,41

En caso de no tener los recursos para conseguir la malla indicada por la norma, también se cuenta con la posibilidad de utilizar mallas de asbesto de laboratorio (figura 4) las cuales cumplen con los requisitos necesarios para soportar la muestra y la combustión. Se pueden presentar inconvenientes en el momento de la distribución del calor, ya que al tener un enmallado más denso la trasferencia de calor variará a comparación con una malla de área abierta superior. NOTA: se debe dar reporte del tipo de malla que se utilice en la prueba, tenerlo en cuenta a la hora de los cálculos, ya que el tiempo de quema y descomposición puede aumentar.

[5] http://www.icomallas.com/p-malla-tejida.html

Figura 4. Malla de asbesto

Fuente: http://www.ojeas.com/ciencia/el-asbesto-y-sus-peligros-para-la-salud_99612.html

3.7.4 Asbestos. Según investigaciones recientes se ha descubierto que la exposición al asbesto puede incrementar el riesgo de cáncer de pulmón y de mesotelioma (cáncer poco común del revestimiento delgado del pecho y abdomen), además de asbestosis, enfermedad inflamatoria que afecta los pulmones y causa dificultad al respirar.[6]

Aunque todavía es de libre venta, Es recomendado no utilizar láminas de asbesto, las cuales pueden ser reemplazadas por materiales refractarios, lana mineral, fibra de vidrio o fibra de cerámica. Por ende se debe de realizar una investigación sobre estos materiales en empresas o entidades especialistas y asesorarse de cuál será el indicado para este desarrollo.

La norma no especifica el calibre de la lámina, ni sus dimensiones. Se propone que esta placa sea de igual área que la rejilla metálica donde se ubica la muestra, y que tenga al menos un grosor de 2 mm para ser ajustada con un gancho a su soporte.

3.7.5 Ventilador extractor. Teniendo en cuenta las especificaciones dadas por la norma donde se indica que se deben extraer 1700 L/min (60 ft3/min). De aire en la cabina, se determinó que los siguientes elementos cumplen con estos requerimientos (Anexo B).

> VENTILADOR AXIAL DE BUJE 120X120X38 mm MARCA EBC HQ 33520. Este ventilador cumple con las capacidades de desplazamiento de aire como se indica en su tabla de catálogo (122-162 m3/h o 72/95CFM) además está hecho de aleación de aluminio y tiene unas dimensiones menores a las de la cabina dando una posibilidad de instalación sin intervenir en la operación del sistema de luz/fotocelda. Este ventilador cuenta con rodamientos de buje, los cuales se caracterizan por ser menos costosos que otro tipo de rodamientos, aunque debe tener una buena lubricación para evitar que se atasque o genere problemas forzando en exceso el motor y averiándolo.

[6] http://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/asbesto/hoja-informativa-asbesto

VENTILADOR AXIAL DE BALINERA 120X120X25 mm MARCA EBC HQ 33524. Este ventilador cumple con las capacidades de desplazamiento de aire como se indica en su tabla de catálogo (122/162 m3/h o 72/95 CFM) además está hecho de aleación de aluminio y tiene unas dimensiones menores a las de la cabina dando una posibilidad de instalación sin intervenir en la operación del sistema de luz/fotocelda. A comparación del ventilador 33520, Este viene equipado con rodamientos de balineras, los cuales se caracterizan por tener una vida útil más larga y requieren menos lubricación pero con el costo más elevado debido a su fabricación.

VENTILADOR AXIAL COOLER MASTER 140 MM LED. Este ventilador no es de uso industrial, se utiliza principalmente para extracción de aire caliente en los computadores de mesa, tiene unas dimensiones superiores a los expuestos anteriormente pero sigue sin interferir en el funcionamiento del dispositivo, además de desplazar el caudal especificado por la norma de 60 CFM. Una ventaja que ofrece este ventilador es que es silencioso. Como desventaja de este ventilador se puede observar que está hecho de un material el cual no es diseñado para las condiciones que se tendrán en este dispositivo (hollín, fuego directo, humos de combustión, calor en exceso, etc.).

3.7.6 Sistema de medición de luz. Para este diseño se estudiaron varias posibilidades para medir la cantidad de luz que atraviesa la cámara. La norma dicta que la medición de luz debe darse en porcentaje de absorción, Esto significa que la luz debe pasar por un elemento que transforme las ondas de luz en señales eléctricas para así poder llevarlas a un medidor digital que muestre en números un valor de porcentaje de absorción obtenido.

En la actualidad hay empresas especializadas en producción de estos aparatos de medición completos como se puede apreciar en la figura 5, es decir que incluyen la fuente de luz, el receptor y el medidor. En este proyecto se tuvo en cuenta la empresa Inglesa FTT (fire test tecnology) que provee elementos relacionados con pruebas de fuego, además que esta empresa también vende el dispositivo completo que cumple con la norma D2843.

Figura 5. Aparato medidor de porcentaje de luz.

Fuente: http://www.fire-testing.com/main/spanish/din-50055

El aparato consta de: Fuente de iluminación, Sistema de medición de luz y Unidad de control. La fuente de iluminación es una lámpara con filamento de tungsteno llena de gas. La alimentación eléctrica de la lámpara la proporciona una fuente de alimentación regulada situada dentro de la unidad de control.

El dispositivo de medición de luz consiste en: Sistema acromático de lentes, Célula fotoeléctrica de silicio, Amplificador de ganancia elevada y bajo nivel de ruido.

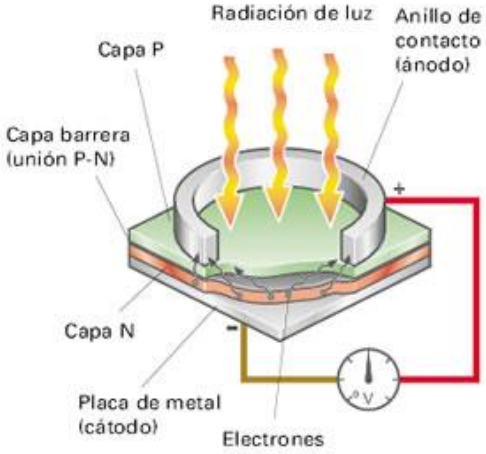
Estos componentes están alojados en una estructura con una lente colimadora. La señal del dispositivo de medición de luz se envía a la unidad de control, la cual es capaz de medir en forma continua la intensidad relativa en función del tiempo como porcentaje de transmisión sobre los rangos estudiados. La respuesta del sistema es lineal con respecto a la transmitancia y su precisión es superior a ±1,5% de la indicación máxima. La unidad de control también regula la atenuación del amplificador de manera que los tiempos de respuesta requeridos para lograr una precisión del 95% (T95) se correspondan con las especificaciones enunciadas en la norma.

Hay una salida analógica en la unidad de control de 0–1 V = 100% de transmisión, disponible para llevar a una unidad de adquisición de datos. También hay un paquete de software para Windows disponible para habilitar la adquisición, el análisis y el almacenamiento de datos simples mediante un registrador de datos. Todos los parámetros se muestran en pantalla. El versátil registrador de datos se puede usar en otras aplicaciones y se envía con software que permite descargar los datos almacenados en el registrador a un ordenador personal para efectuar otros análisis.

Otro método que se tuvo en cuenta para el sistema de medición de luz, más viable, que no cuenta con la tecnología enseñada anteriormente y que utiliza los elementos propuestos con la norma se expone de la siguiente manera. Se utilizará como fuente de luz el bombillo que la norma exige (lámpara de microscopio No. 1493) ubicado en la cámara posterior izquierda, con un reflector esférico en la parte opuesta al agujero de salida y un lente focal justo antes del agujero con el fin de generar un rayo dirigido que atraviese la cabina de combustión en su totalidad.

En la cámara ubicada al lado derecho de la cabina principal se posiciona el receptor de luz justo en el centro del agujero circular que une las dos cámaras. En este caso se utilizará un fotodiodo similar al representado en la figura 6. La corriente que entrega el fotodiodo es muy pequeña, por esto se requiere aumentar la señal por medio de un amplificador operacional, que transforme la pequeña corriente a una tensión de salida proporcional con una ganancia. El amplificador está configurado en modo inversor, esto quiere decir que la onda de salida es opuesta a la de entrada, en pocas palabras la señal está desfasada. El potenciómetro permite controlar la ganancia de la señal. En términos generales, el circuito del amplificador, se puede observar como un convertidor de corriente a voltaje, pues se sabe que el circuito funciona para recibir señales de luz. Los datos obtenidos se leerán en porcentaje y serán visible en una pantalla para la toma de datos correspondiente. Esta conexión mostrada en la figura 8 consta de un potenciómetro de 1 mega Ohm, una resistencia de 2 mega Ohm, un capacitor de 10 nano Faradios y una fuente de voltaje de 5 voltios. Estos valores pueden variar dependiendo de la conexión que se desee o las capacidades energéticas del sistema.

Figura 6. Representación de un fotodiodo

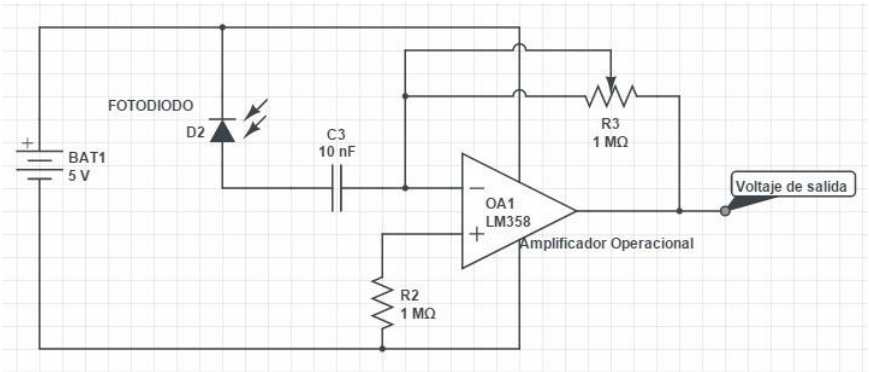


Fuente: www.emaze.com/@AOTZORIQ/FOTODIODOS

Figura 7. Amplificador operacional convencional

Fuente http://www.sigmaelectronica.net/amplificadores-operacionales-c-115_97_170.html

Figura 8. Conexión eléctrica del fotodiodo con el amplificador



Fuente: El Autor.

3.7.7 Gas propano. El gas propano se envasa generalmente en pipas o tanques, estos vienen con capacidades de 20, 40, 60 y 100 libras, aunque también se pueden conseguir en versiones pequeñas para estufas de camping o para usos domésticos donde se necesite mover el depósito de gas a menudo. Para este diseño se recomienda utilizar una pipa de gas fija con una capacidad de 20 o 40 libras, ya que su tamaño es relativamente pequeño y fácil de mover en caso de ser necesario. Estas pipas se pueden conseguir en cualquier ciudad en un establecimiento dedicado a la venta de gas propano y son de libre venta al público. Además, son reutilizables pues al terminar su contenido de gas, se pueden volver a cargar. Es necesario para la utilización de éstas, unos accesorios que se mencionan en el diseño del dispositivo, como lo es un regulador de gas, un medidor de presión, una manguera y un quemador. El llenado de éstas tiene variaciones en el precio, ya que el gas propano por metro cúbico varía constantemente.

NOTA: Como recomendación se tener debe tener en cuenta los chequeos que se mencionan en los manuales de uso y mantenimiento para comprobar si hay fugas o algún defecto en el tanque de gas y evitar cualquier riesgo que atente contra el usuario.

3.7.8 Señal de salida. La norma exige una pantalla en la parte trasera de la cámara con unas medidas especidicadas y la palabra “exit” en letras rojas con fondo blanco. Esta pantalla se puede conseguir el almacenes dedicados a la venta de artículos de trabajo que manejen cierta peligrosidad. Los cuales necesiten señalización ya sea la utilización de casco, el piso húmedo o como en este caso, salidas de emergencia. Esta señal debe adherirse al fondo de la cámara, asi que se propone que tenga un adhesivo permanente o se puede contemplar la posibilidad de utilizar imanes que se adhieran a la pared de la cámara, aunque se debe comprobar las propiedades magneticas del aluminio de la cámara antes de utilizar imanes. Actualmente venden este tipo de señales con luz interna para el caso de oscuridad, las cuales pueden ser acomodadas en este dispositivo pero tendrían un costo adicional elevado.

3.7.9 Recipiente de agua. Para este dispositivo es necesario un recipiente con agua ubicado en la parte inferior de la cabina con el fin de apagar cualquier desprendimiento de la muestra que se encuentre en llamas y caiga en la cabina. La norma no exige dimensiones ni materiales para este recipiente, pero teniendo en cuenta que se manejará calor dentro de la cabina y el área de la base es cuadrada, se opta por utilizar recipientes de aluminio como los de cocina, son de bajo costo, resisten el calor y son reutilizables, además de venir en diferentes tamaños y profundidades. Para el uso de este recipiente se le debe agregar una cantidad de agua suficiente para que las piezas de residuo que caigan logren apagarse. Se recomienda que la profundidad del recipiente no supere los 50 mm para evitar interferir en el manejo de los elementos dentro de la cabina. En la figura 9 se muestras diferentes recipientes, ya queda a disposición del fabricante elegir una a su gusto.

Figura 9. Recipientes de aluminio

Fuente: http://www.fullflexjc.com

3.7.10 Dámper. El dámper mostrado en la igura 10 es lo que se conoce como una compuerta de mariposa (o cortina en los vehiculos de carburador) y tiene como función abrir y cerrar el paso de aire del interior al exterior de la cámara al momento de la prueba. Está ubicada dentro de un ducto que une la cámara con el extractor. Debe tener un diámetro de 70 mm o mas y puede ser manejada manual o automaticamente. Este elemento se recomienda elaborar a medida, pues por ser un diseño específico, es posible que no exista uno que tenga las medidas necesarias. Se propone fabricarlo en acero inoxidable, ya que se facilita su limpieza y desmontaje, además de resistir altas temperaturas.

Figura 10. Dámper

Fuente: http://www.damper-designs.co.uk

3.7.11 Bombillo. La norma exíge una lámpara de microscopio No. 1493 de 5.3V a 6.5V como el mostrado a continuación en la figura 11. Pueden ser conseguidas en tiendas virtuales americanas como eBay por 18 USD (aproximadamente 60.000 COP). En Colombia existen empresas dedicadas a la comercialización de elementos de laboratorio (Comprolab-Bogotá tel.2717099) donde también se puede buscar una referencia similar. Es importante tener en cuenta que este tipo de bombillos no utiliza plafones convencionales debido a que el diámetro de su conexión es menor al de los bombillos que se utilizan en el hogar, por eso se debe adaptar un plafón de

diámetro menor para este tipo de bombillos que también puede ser conseguido en sitios dedicados a la venta de bombillos o casas eléctricas, y son comúnmente conocidos como plafones de candelabro.

Figura 11. Bombillo no.1493 de 6,5 V

Fuente: http://uk.rs-online.com/web/p/filament-indicator-lamps/2508739172/

3.7.12 Termómetro. Al momento de la prueba el dispositivo aumenta su temperatura debido a que hay una llama dentro de la cámara principal, esto influirá notablemente en los valores arrojados por el sistema de medición de luz, pues al aumentar la tempreratura, las fotoceldas pierden o ganan sensibilidad y la corriente elécrica entregada será diferente a la que se entregase en condiciones ambientales, ademas se verá una variación no deseada en los resultados. Es por esto que es necesario añadir a este dispositivo un termómetro para medir la temperatura superficial de la fotocelda y llevar un control pertinente. La norma recomienda que la temperatura de operación de la fotocelda no supere los 50 °C.

Existe gran variedad de termómetros actualmente en el mercado, desde los de mercurio hasta los de ultima tecnología digitales. Para este caso viendo la aplicación para la cual se necesita, se dan las siguentes opciones:

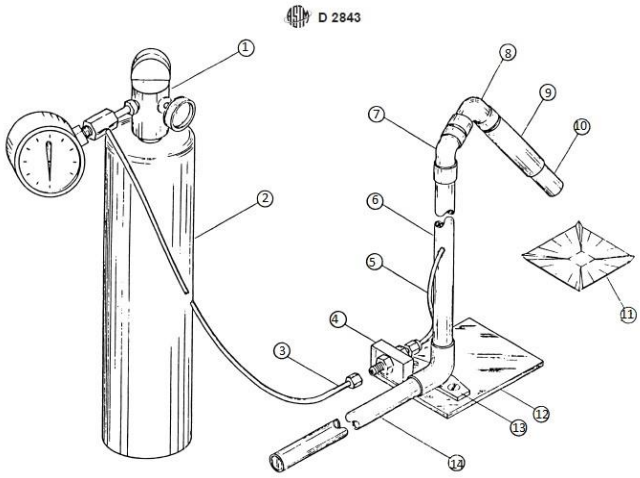
Termohigrómetro digital: Este aparato cuenta con la posibilidad de medir temperaturas positivas y negativas en un rango de -50°C hasta 70°C, ademas de medir temperatura interna del dispositivo,tambien cuenta con la posibilidad de medir la humedad relativa presente en el resinto donde se está efectuando la prueba, la cual puede ser de suma importancia para la toma de datos y acondicionamiento (dirigirse al numeral 3.3). Este aparato cuenta con una pantalla digital que muestra las mediciones de temperatura y humedad. Inconveniente de este termohigrómetro es su alto costo, pues puede llegar a superar los $150.000 COP.

Otra opción que se tiene en cuenta para la medición de temperatura, y un poco mas rentable es un termómetro digital con termocupla. Cumple solo con la función de dar la temperatura del elemento que esté en contacto con su terminal metálico (termocupla), las medidas serán menores y funciona con baterías tipo botón.

3.7.13. Cronómetro. El cronómetro juega un papel escencial en para la toma de muestras, pues es necesario medir el tiempo en lapsos de 15 segundos durante 4 minutos (dirigirse al numeral 3.4.) En este caso se puede utilizar cualquier tipo de cronómetro. Si es posible, acoplar uno que cumpla con la función "split" que es la que muestra cortes de tiempo sin parar el el cronómetro, Como es el caso de los cronómetros deportivos. Otra alternativa posible es el uso de temporizadores industriales que cumplan la misma función, o llegado el caso de no tener los recursos para hacer la inversión en un cronómetro, los celulares de última generación como los smartphones tienen entre sus aplicaciones cronómetros que cumplen todos los requisitos necesarios para hacer esta prueba y tener medidas de tiempos exactas.

3.7.14 Quemador de gas. La figura 12 tomada de la norma ASTM D2843 enseña un bosquejo de como debe ir instalado el quemador de gas. Éste consta de tubos hechos de cobre y ángulos diseñados para que las piezas sean moviles y de facil desmontaje. Queda a disposición de la persona encargada en la construcción de este dispositivo si desea conservar el diseño propuesto por la norma, o desea hacer alguna reforma teniendo en cuenta que debe cumplir con las mismas condiciones de quema.

Figura 12. Sistema de quemador.



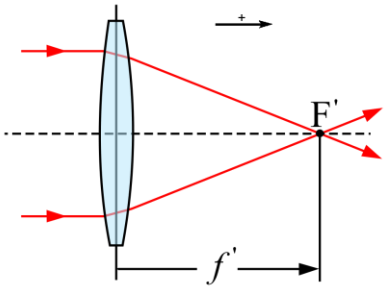
1. Regulador de gas propano (valvula de 0 a 60 psi).
2. Tanque de gas propano.
3. Manguera de gas flexible.
4. Soporte de aluminio.

5. Tubo de cobre flexible de 1/8 de pulgada de diámetro exterior.
6. Tubo cobre de 8 pulgadas de longitud con diámetro de media pulgada.
7. Tubo de cobre con ángulo de 45°.
8. Tubo de cobre con ángulo 90°.
9. Manga deslizable.
10. Cabeza del quemador .
11. Colector de acero inoxidable (2.5 x 2.5 x 3/8 pulg de profundidad, con fondo cuadrado).
12. Plato de aluminio para montaje.
13. Codo de 90° con pestaña.
14. Tubo de cobre de 8 ¾ de pulgada de longitud y un diámetro de ½ de pulgada.

Fuente: Norma ASTM D2843

3.7.15 Lente focal. Es necesario colocar un lente director con la función de dar un rayo de luz mas definido, pues al encender el bombillo, este dará luz en todas las direcciones. La norma menciona un lente de 60 a 65 mm FL (focal lenght o distancia focal) como se muestra en la figura 5, estos son de uso comun y facilmente se pueden conseguir en el mercado. Los lentes traen diferentes presentaciones, siedo lentes planos, convexos o concavos, cada uno con una función diferente al momento de dirigir la luz que los atraviesa. Para este caso donde se necesita dirigir luz a un punto en particular es necesario utilizar un lente dobleconvexo o convergente como se muestra en la figura 13, teniendo f´ como la distancia focal, y F´ como el punto de enfoque, donde debe ir ubicada la fotocelda receptora de luz. El costo de este lente varía de acuerdo a su calidad, pues pueden conseguirse desde muy bajo precio si son genericos hechos en china, o pueden conseguirse los mismos elaborados con altos estandares de calidad en tiendas virtuales en los estados unidos. [7]

Figura 13. Ilustración de configuración del lente.



Fuente: http://aptnk.in/2011/02/understanding-depth-of-field/

[7] http://www.edmundoptics.com/optics/optical-lenses/double-convex-dcx-spherical-singlet-lenses/mgf2-coated-double-convex-dcx-lenses/63589/

Tablal 5. Propiedades de lente

Diametro(mm)	30.0
Tolerancia de diametro (mm)	+0.00/-0.10
Apertura clara CA (mm)	29.00
Distancia Focal efectiva EFL (mm)	60.0
Distancia focal trasera (mm)	58.33
Tolerancia de distancia focal (%)	±1
Radio R1 (mm)	61.15
Espesor de borde ET (mm)	1.26
Espesor de centro CT (mm)	5.00
Tolerancia de espesor de centro (mm)	±0.1
Centrado (arcmin)	≤1
Calidad de superficie	20-40
Tipo	Doble convexo
Bisel	Bisel de proteccion requerido

Fuente: http://aptnk.in/2011/02/understanding-depth-of-field/

3.7.16 Reflector esférico. Se debe posicionar un reflector cerca al bombillo, que cumpla con la función de dirigir la luz del lado opuesto de la cámara hacia el agujero de salida. Este reflector debe ser esférico, pues asi la luz sera dirigida más facilmente que al tener un reflector plano.

Existen diferentes tipos de reflectores en el mercado actual, en su mayoría tienen un agujero en el centro cóncavo para posicionar el bombillo, pero en este caso se debe utilizar completamente cerrado, ya que la fuente de luz estará empotrada a la cabina. Se debe utilizar un reflector que cumpla con las medidas de la cabina y es recomendable preguntar a personal capacitado para instruir al constructor acerca de las caracteristicas de dichos reflectores.

3.8 CÁLCULOS

En esta sección se tendrán en cuenta los cálculos necesarios para el correcto funcionamiento del dispositivo, ya que es de suma importancia que todos los elementos cumplan con su objetivo. Es por eso que se tomó este espacio en el documento para dar a conocer la parte matemática del diseño.

3.8.1 Esfuerzo soportado por la base. Para este diseño la base es construida del mismo material de las cabinas, en este caso se tienen en cuenta las propiedades del aluminio 1100 el cual cuenta con una resistencia mecánica de 14 a 19 ksi (96,5 a 131 MPa). Para este estudio es necesario conocer el peso del dispositivo para hallar el esfuerzo que éste hace sobre la base, teniendo en cuenta que la densidad del aluminio 1100 es de $d = 2{,}71\ g/cm^3$.

Conociendo las áreas de cada cara conocida, y el espesor de la lámina de 2,10 mm (calibre 14) se obtiene lo siguiente.

Volumenes:

Ecuación de Volumen de un Cubo = lado x lado x lado. (a)

Techo cámara central:

1) 300 x 300 x 2,1 mm = $189999\ mm^3$x $\frac{1\ cm^3}{1000\ mm^3}$ = 189 cm^3

Paredes cámara central:

2) 300x 790x 2,1 mm x 4 piezas = 1990,8 cm^3

Techos y bases cámaras laterales:

3) 250 x 250 x 2,1 mm x 5 piezas= 656,25 cm^3

Paredes cámara izquierda:

4) 200 x 250 x 2,1 mm x 4 piezas = 840 cm^3

Paredes laterales cámara derecha:

5) 200 x 250 x 2,1 mm x 2 piezas = 210 cm^3

Paredes frontal y trasera cámara derecha

6) 250 x 250 x 2,1 mm x 2 piezas =262,5 cm^3

Se debe tener en cuenta que en cada cámara hay unos agujeros dispuestos para el paso de luz, cada uno con un diámetro de 70 mm, los cuales deben restarse al volumen total del aluminio presente.

Volumen de un cilindro= $\pi . r^2 . h$ (b)

V= $\pi.(35\ mm)^2$. 2,1 mm= 8081,74mm^3 $\frac{1\ cm^3}{1000\ mm^3}$ =8,08 cm^3

Volumen total: 4148,55- 8,08=4140,47 cm^3

Ya conociendo la densidad del aluminio de 2,71 gr/cm^3 se obtiene el peso.

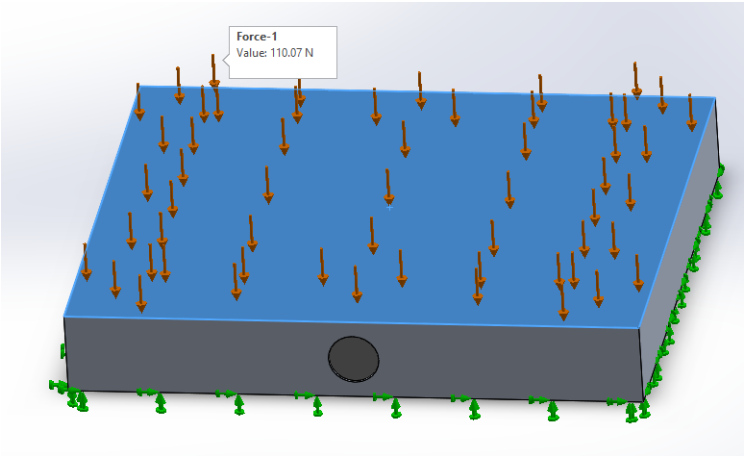
Peso= Densidad x Volumen

2,71 g/cm^3 x 4170,47 cm^3 = 11220,67 gr , lo que es equivalente a 11,22 kg.

El esfuerzo es hallado en el programa de diseño solid works, utilizando elementos finitos y aplicando la fuerza en newtons sobre la base, distribuyendo el peso en el area de soporte como se muestra en las figuras 14 y 15.

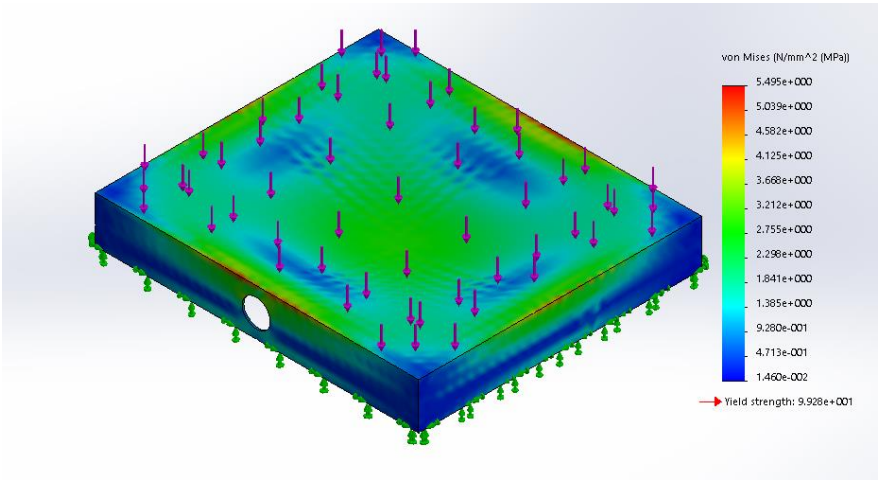
Figura 14. Fuerza aplicada a la base del dispositivo.

$$11.22 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/}s^2 = 110.07 \text{ N}$$



Fuente: El autor

Figura 15. Esfuerzos de von mises obtenidos.



Fuente: El autor

Al observar la figura 15 se puede apreciar que el esfuerzo máximo generado por el peso del dispositivo sobre la base es de 5,48 Mpa (máximo resistido Al=96,5 MPa), lo que es significativamente bajo comparado con el máximo resistido por el aluminio de 96,5 MPa esto indica que no se corre ningun riesgo de seguridad estructural en cuanto a la base del dispositivo. Es de tener en cuenta que para el análisis de esfuerzos no se tuvo en cuenta el peso de los aparatos electrónicos que posteriormente serán utilizados en el sistema de recolección de datos, pues no es de mucha influencia ya que su peso es aproximadamente entre 2 y 3 kg y no causará ningún efecto en el resultado de los esfuerzos obtenidos.

3.8.2 Esfuerzo soportado por la varilla de soporte. Dicha varilla cumple con la función de sostener el material polímero en una rejilla de acero mientras la prueba es llevada a cabo, ádemas de sostener otra varilla ubicada debajo de ésta, la cual está diseñada para sostener los asbestos que por norma debe llevar el diseño. Los parámetros a tener en cuenta en este caso, son el peso de la probeta multiplicado por la longitud de la varilla hasta la pared de la cámara, así se podrá conocer el momento generado en el eje de la varilla, y se tendrá conocimiento de las capacidades del material para resistir este esfuerzo. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se tiene que es necesario saber el peso de la probeta. En este caso para encontrar el momento maxímo, se escoge el polímero de mayor densidad. Y siguiendo la norma que propone que las probetas deben tener una medida de de 25,4 ±0,3 x 25,4 ±0,3 x 6,2 ±0,3 mm

En la tabla 6 de densidades se puede apreciar que el polímero con mayor densidad es el politetraflucetileno (teflón) con 2,3 g/cm^3

Tabla 6. Densidad de polímeros.

DENSIDAD	
Polímero	**Densidades en g cm^{-3}**
Polietileno de alta densidad	0,94 a 0,97
Polietileno de baja densidad	0,91 a 0,93
Polipropileno	0,93 a 0,94
Polidoruro de vinilo	1,39 a 1,40
Polimetacrilato de metilo	1,19 a 1,20
Poliestireno	1,04 a 1,10
Nylon 66	1,2 a 1,3
Polietilentereftalato de etileno	1,33 a 1,39
Poliacrilonitrilo	1,33 a1,39
Politetrafluoetileno	2,0 a 2,3

Fuente: http://www.cienciaenaccion.org/es/2016/experimento-220/camino-del-reciclado-identificacion-y-separacion-de-pol.html

Entonces.

Volumen, de la ecuación (a): 25,4 x 25,4 x 6,2 mm= 3999,99 $mm^3 \approx 4000\ mm^3$ x $\frac{1\ cm^3}{1000\ mm^3}$ = 4 cm^3

Peso= Volumen x Densidad

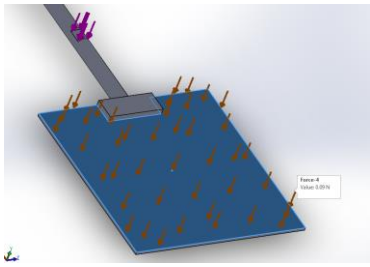
Peso= 4 cm^3 x 2.3 $\frac{g}{cm^3}$= 9,2 gramos

9,2 gr = 0,0092 kg

0,0092 kg x 9,81 $\frac{m}{s^2}$= 0,09 Newtons

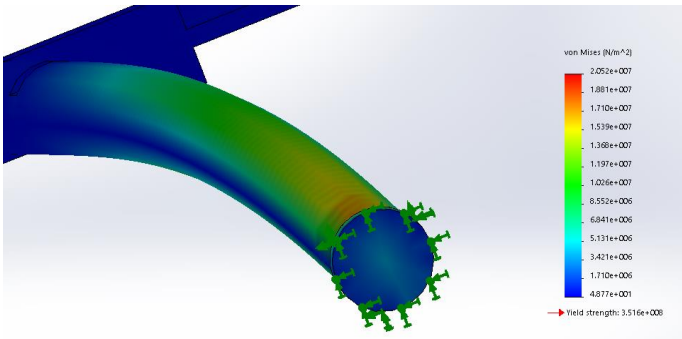
Conociendo ya el valor en newtons de la fuerza aplicada por la probeta al soporte, se procede a utilizar el programa de diseño solidworks para conocer los esfuerzos generados obtiendo las figuras 16 y 17.

Figura 16. Fuerza aplicada al soporte.



Fuente: El autor

Figura 17. Esfuerzos de von mises generados



Fuente: El autor

Como se puede apreciar en las figuras 16 y 17, Los esfuerzos de torsión máximos generados por el peso de la muestra son de 2.052 Pa lo cual es insignificante para la resistencia de la barra de

acero que cuenta con una capacidad de aproximadamente 362 MPa (suponiendo un acero comercial 1010 o 1020).

3.8.3 Capacidad de Extracción de humo. Para los cálculos de extracción es necesario tener en cuenta el volumen interno de la cámara, la capacidad de entrada de aire por los orificios y las propiedades del ventilador como se muestra a continuación.

Máximo volumen posible de aire en la caámara.

$$300 \text{ x } 300 \text{ x } 790 \text{ mm} = 71100000\ mm^3\ de\ Aire \text{ x } \frac{1\ cm^3}{1000\ mm^3}\ x\ \frac{1\ m^3}{1000000\ cm^3} = 0{,}0711\ m^3.$$

Para la capacidad de entrada de aire la norma exige 4 orificios en la parte inferior de la cámara principal con áreas de 25 x 230 mm.

$$25 \text{ x } 230 \text{ x } 4 \text{ mm} = 23000\ mm^2 = 0{,}023\ m^2 \text{ de area de entrada de aire.}$$

La capaciad de extraccion del ventilador propuesto para este diseño es de 138/ 162 m^3/h (82/95 CFM), esto puesto en segundos.

- Para la Capacidad extracción minima :

$$138\frac{m^3}{h} * \frac{1\ h}{3600\ s} = 0.0383\ m^3/s$$

- La velocidad de entrada de aire será medido con la siguiente ecuación:

Caudal = Área x Velocidad (d)

Caudal = Volumen x Tiempo (e)

Caudal de salida= caudal de entrada

De la Ecuación (e) se conoce que Caudal = 0,0383 m^3/s

Despejando de ecuacion (d) la velocidad se tiene que :

$$\text{V.entrada} = \frac{0.0383\ m^3/s}{0.023\ m^2} = 1{,}67 \text{ m/s}$$

$$Ve * Ae = Vs * As \quad \text{(f)}$$

$$Vs = Ve * \frac{Ae}{As}$$

$$Vs = 1{,}67\frac{m}{s} * \frac{0.023\ m^2}{\pi * (0{,}035)^2\ m^2} = 9{,}98\ m/s$$

- Tiempo de extracción del humo aproximada:

Teniendo en cuenta las velocidades de entrada y salida de aire se puede notar que es mayor la cantidad de aire + humo saliendo de la cámara que entrando a esta, Lo que genera un vacío en su interior dando paso a aire limpio desde el medio ambiente por los agujeros en la parte inferior de la cámara.

Conociendo que la capacidad de extracción del ventilador es de 0,0383 m^3/s y que la cámara cuenta con un volumen total de 0,0711 m^3, se estima que abriendo en dámper en su totalidad, tomará entre 2 y 3 segundos en despojar todo el volumen de humo de la cámara. Es recomendado ir abriendo el damper de forma controlada de tal manera que se regule la velocidad de salida de aire, pues el área de escape sera menor a la de entrada, y el vacío generado será menor. Esto también influirá en el tiempo de descontaminación del aire dentro de la cámara.

NOTA: Los cálculos mostrados anteriormente fueron dirigidos unicamente para el ventilador propuesto. La norma exige como mínimo una capacidad de extracción de 60 CFM y éste cuenta con 82 CFM, por lo que puede causar confusión en los tiempos de extracción tan bajos. Es posible que al tener el ventilador con las especificaciones originales, el tiempo de extracción aumente.

3.8.4 Estudio Térmico de la cámara. Es necesario conocer la temperatura de las paredes de la cámara debido a que esta es operada por humanos y es de suma importancia mantener la integridad de las personas y la seguridad del laboratorio, evitando accidentes, quemaduras y posibles riesgos de incendio. Es por eso que se hace un estudio analizando factores que pueden llegar a causar cualquier tipo de accidente.

Para el análisis térmico se tiene en cuenta el material de la cámara y su capacidad para transmitir calor del interior al exterior. También es necesario aplicar conocimientos de termodinámica y transferncia de calor con los cuales se dará conocer la cantidad de energía que genera el gas propano al ser puesto en combustión, y asi obtener los resultados de temperatura posible aproximada de la cámara en su parte exterior.

El estudio de temperatura se realiza únicamente en en área del techo de la cámara principal, pues el objetivo es conocer la máxima temperatura posible en la cámara, y teniendo conocimientos lógicos, es de entenderse que la llama producida en el centro de la cámara generará un calor que se verá reflejado principalmente en la parte superior de la ésta, además de que los humos calientes tienden a subir y a provocar una mayor temperatura en dicha parte de la cabina. Para esto se aplican los conceptos de la transferencia de calor por convección y conducción.

La transferencia de calor por radiación es mínima debido al tamaño de la llama y la distancia de ésta a las paredes laterales de la cámara, por eso se omite en este análisis.

La transferencia por conducción se presenta entre dos superficies sólidas que se tocan a diferentes temperaturas, donde el calor se transfiere de la superficie de mayor temperatura a la de menor.

La tranferencia por convección se presenta entre un fluido en movimiento y un solido fijo en cualquiera de las dos direcciones, teniendo en cuenta que el calor se transfiere de T° mayor a T° menor.

Para este análisis se hizo un experimento casero con la llama de una vela encendida que representa la llama del gas propano en una caja de cartón con las mismas dimensiones de la cámara y de techo se colocó una lámina metálica (hojalata) con un calibre de 2 milímetros, esto con el fin de recrear el techo de la cámara real. El proceso se repitió hasta con 5 velas suponiendo que la llama aumente su intensidad al prenderse en fuego la probeta de polímero. posteriormente Se midió la temperatura de la superficie de la lámina despues de 4 minutos al fuego. Al no ser los mismos materiales de la cámara, ni la misma condición de la llama debido al combustible utilizado, los resultados obtenidos varían levemente al medir la temperatura en su condición original, lo que se busca es tener una referencia de temperatura en el techo de la cámara para tomar precauciones en el manejo del aparato.

Cada prueba consta de 4 minutos, a una temperatura ambiental de 26 °C. en una habitacion cerrada sin flujo de aire y se presenta en la tabla 7 mostrada a continuación.

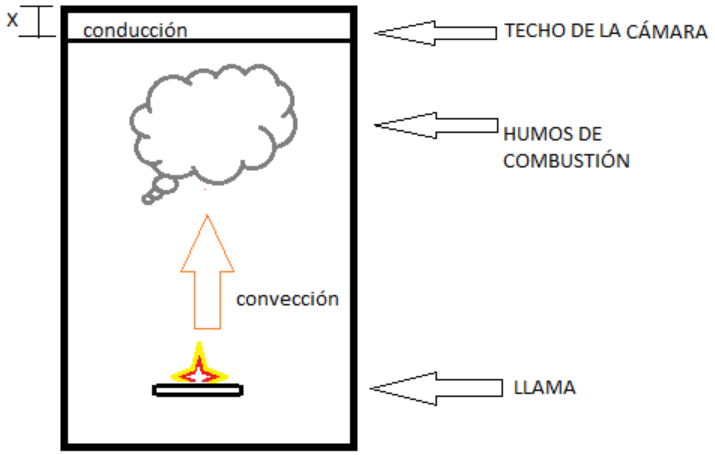
Tabla 7. Medidas de temperatura superficial

Número de Velas	Temperatura en la superficie(°C)
1	28,4
2	29,1
3	31,5
4	39,5
5	50,2

Fuente: El autor

El proceso de combustión generará calor y humos como se muestra en la figura 18 recreada de forma sencilla para una facil apreciación.

Figura 18. Cámara principal.



Fuente: El autor

Ecuacion de transferencia de calor por conducción:

$$\dot{Q} = -kA\frac{(T2-T1)}{x} \quad \text{(g)}$$

Ecuacion de transferencia de calor por convección:

$$\dot{Q} = -hA(T - T\infty) \quad \text{(h)}$$

$\dot{Q}$ =Potencia [watts]
k= Conductividad térmica del material [W/m°C]
h=Coeficiente de convección [w/m^2°C]
A= Área de contacto[m^2]
T∞ =Temperatura del medio ambiente[°C]
T2= Temperatura menor[°C]
T1= Temperatura mayor[°C]

Para conocer la potencia es necesario saber que se la combustión es debida al GAS PROPANO. Ademas de las siguientes conversiones (Anexo C)

1 m^3= 580,88 kg

1 Ton= 13385 kwh

1 kg= 13,29 kwh

1 kwh= 0,07228 kg

Tabla 8. Conductividad térmica de algunos materiales.

Material	**Conductividad Térmica (W/(m·K))**
Acero	47 – 58
Acero inoxidable	14-16
Agua	0,58
Aire	0,024
Aluminio	209,3

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. - Yunus Cengel

Además es necesario conocer el valor de "h" como se muestra en la tabla 9. Obtenida de un libro de termodinámica facilitado por la universidad para el desarrollo de este proyecto[8].

Tabla 9. Valores de coeficiente de conveccion.

VALORES TIPICOS PROMEDIOS DE h_0	
Convección libre	h_c (W/m².ºC)
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	h_c (W/m².ºC)
Gases	25-250
Líquidos	50-20000

Fuente: Transferencia de Calor y Masa 4ta ed. - Yunus Cengel.

Con los valores anterior mencionados y las tablas a disposición se procede a calcular.

Cantidad de calor entregada al techo de la cámara por convección:

[8] Cengel, Yunus. Transferencia de Calor y Masa 4ta Edición.

T∞=26°C. T superficie= 50,2 °C. h gases=20 w/$m^2\,°C$. Área de superficie =0,3 x 0,3 = 0,9 m^2.
K del aluminio= 209.3 (W/m°K)

De la ecuación (h):

$$\dot{Q} = \left(20\frac{w}{m^2\,°C}\right) * 0{,}09\ m^2 * (50{,}2-26)°C = 65{,}34 \text{ watts}$$

Ya conociendo el valor del calor entregado e igualando la ecuación (a) y (b) se puede obtener la temperatura de la parte interior del techo de la cámara de la siguente manera.

De la ecuación (g) se halla la transferencia de calor por conducción:

$$65{,}34 \text{ watts} = 209{,}3\frac{w}{m°K} * (0{,}09 m^2) * \frac{(Ti-323{,}2°K)}{0{,}0021\ m}$$

Despejando Ti = 323,2072 K

En grados celcius=50,207 °C

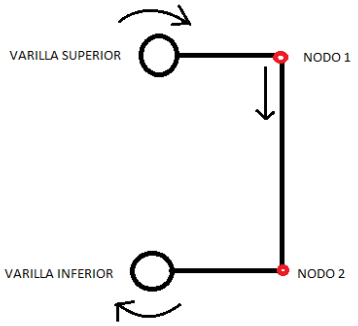
Aunque el resultado de temperatura es mayor internamete, se puede deducir que la temperatura en las dos caras del metal es prácticamente la misma debido a que su espesor es de dimensiones muy pequeñas y todo el calor de la parte interior de la cabina es transferido a su exterior.

Con los resultados obtenidos se demuestra que el dispositivo no genera un riesgo por altas temperaturas, pero es necesario tener precaución en su manipulación despues de terminada la prueba, pues se puede causar una lesión leve en la piel al tocar una superficie caliente por tiempo prolongado. Se recomienda no tocar el dispositivo hasta pasado unos minutos despues del muestreo, asi se evitarán accidentes relaccionados con quemaduras en la piel. Es importante no colocar objetos sobre el dispositivo en ninguna circunstancia, ya sean lapiceros, cuadernos, objetos personales, y mucho menos objetos que puedan llegar derretirse o incinerarse facilmente, esto causaría accidentes más graves y como consecuencia generar un incendio.

3.8.5 Mecanismo de movimiento de soportes. Es necesario que al terminal la prueba los residuos de la combustión sean removidos de la rejilla de soporte de muestra, además del material desprendido que haya caído en los asbestos. Para esto es necesario que tanto el soporte de la probeta como los asbestos tengan un movimiento de la posición horizontal a vertical con el fin de hacer caer los residuos por su propio peso al recipiente con agua ubicado en la parte inferior de la cámara principal.

Hay muchas formas de hacer que estos elementos cambien de posición, en la figura 19 se propone un modelo. Aunque se puede hacer de forma manual, no se recomienda debido a que los elementos van a estar calientes después de la prueba y se puede llegar a causar cualquier tipo de lesión o quemadura en la piel. Es por esto que se debe diseñar un mecanismo que haga girar los dos elementos a posición vertical con solo mover la perilla ubicada fuera de la cámara.

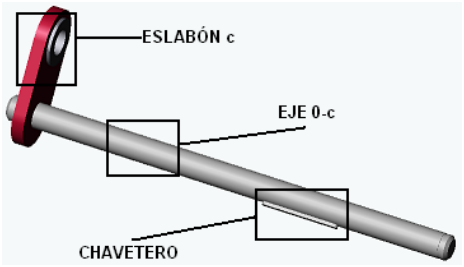
Figura 19. Modelo del mecanismo de movimiento de soportes.



Fuente: El Autor

En el esquema anterior se muestra el mecanismo utilizado para hacer girar las varillas al mismo tiempo teniendo en cuenta que en la posición mostrada, las placas de soporte se encuentran en posición horizontal. Este mecanismo era comunmente utilizado en los automóviles antiguos cuando no se contaba con dirección hidráulica. Consta de 3 barras, dos de ellas fijas a las varillas y la otra con 2 grados de libertad acoplada mediante nodos. Es necesario que las varillas estén unidas entre sí por un eslabón como se muestra en la figura 20, que las deje girar sobre su propio eje y que el mecanismo esté acoplado a las varillas por un chavetero o una junta que sea facil de remover en caso de que alguna de las piezas se dañe o necesite ser reemplazada.

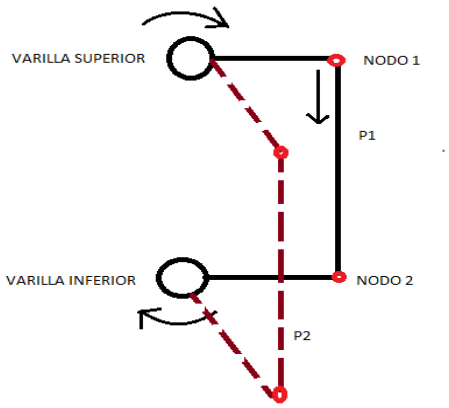
Figura 20. Eje de la varilla y sus partes.



Fuente: http://www.unioviedo.es/DCIF/IMecanica/GestionCortizo/Metodolo~gia/aplicaciones/juncal-nico/Movimiento/juncal%20cuarta%20etapa%20desarrollo.htm

El mecanismo debe tener como mínimo dos nodos, Estos cumplen la función de dar dos grados de libertar en un plano de bidimensiones como se muestra en la figura 21.

Figura 21. Movimiento de nodos.



Fuente: El Autor

Se puede observar que los nodos permiten mover el mecanismo de la posición incial (P1) a una posición (P2) con un grado de inclinación mayor, la cual logra que los residuos caigan por gravedad.

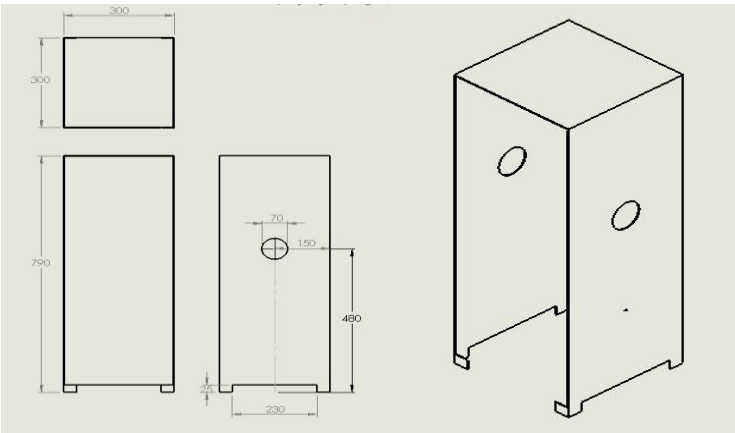
La figura 21 muestra que el mecanismo puede ser diseñado utilizando materiales como el acero o el aluminio presentes en el dispositivo, teniendo en cuenta los factores a los que se encuentra expuesto dentro de la cabina y escogiendo la mejor opción para el diseño posterior.

3.9 PLANOS

Nota: Los planos a continuación mostrados en la figura 22, 23, 24 y 25 se elaboraron teniendo en cuenta la norma ASTD D2843. las medidas de todos los elementos estan dadas en milímetros, las vistas mostradas son la superior, frontal y lateral. las láminas son calibre 14 (2,10 mm o 0,0083 in) esto puede variar las dimensiones teniendo en cuenta si se miden desde la parte interior o exterior de la lamina (Anexo F)

3.9.1 Cámara. Se dá una posible configuración de la cámara al ser constrida, mostrando sus dimensiones y proporciones de una manera virtual. El constructor deberá utilizar este diseño como base para su estructura, ya queda bajo su responsabilidad cualquier modificación que éste desee hacer posteriormente y pueda mejorar o afectar el aparato.

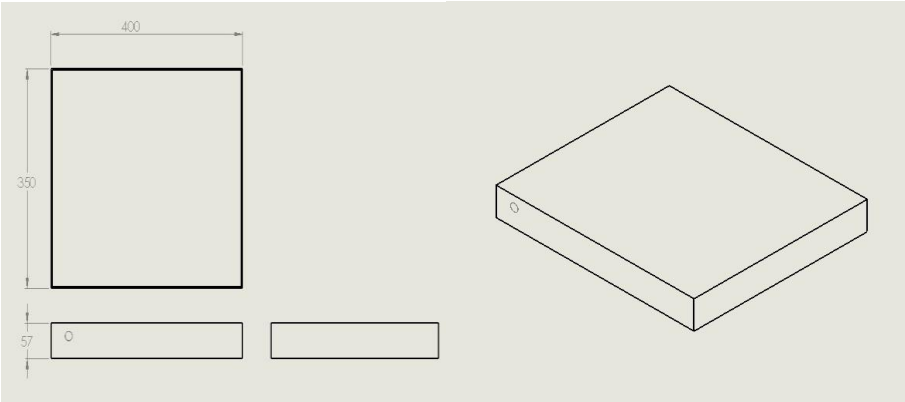
Figura 22. Vistas camara



Fuente: El autor

3.9.2 Base. Es una sencilla representación de como se vería la base de la camara al ser vista por separado. Siendo su parte frontal la cual tiene un circulo dibujado al lado izquierdo.

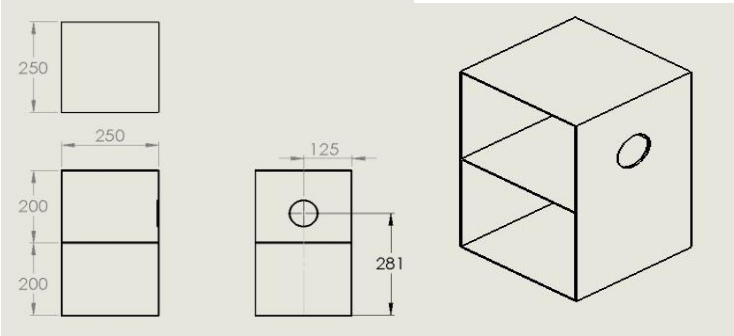
Figura 23. Vistas base



Fuente: El Autor.

3.9.3 Contenedor izquierdo. En éste se localizarán elementos importantes del dispositivo, como lo son el bombillo, el reflector y el lente focal, teniendo 2 compartimientos para poder alojar conexiones y otros elementos necesarios en el desarrollo de la prueba.

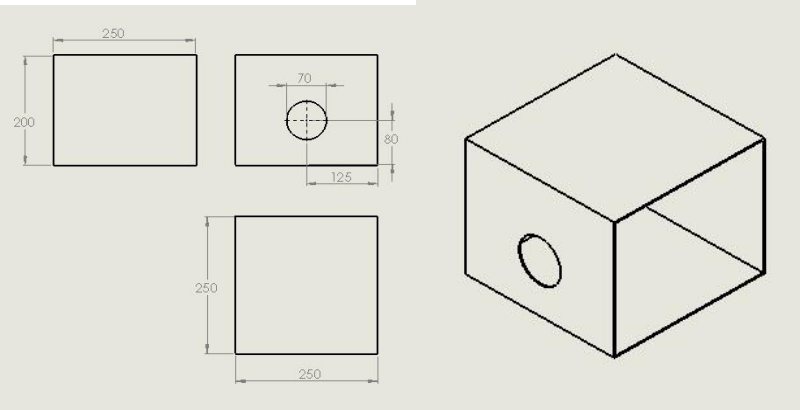
Figura 24. Vistas contenedor izquierdo



Fuente: El Autor

3.9.4 Contenedor derecho. Éste es el contenedor donde se posicionará el receptor de luz y los demas instrumentos necesarios para convertir la señal de luz en un numero legible

Figura 25. Vistas contenedor derecho



Fuente: El Autor.

3.10 ENSAMBLAJE

En la figura 26 Mostrada a continuación se observa el dispositivo expuesto en su totalidad. Este consta de 14 partes integrales, sin tener en cuenta los elementos utilzados para la medición ni las conexiones, ya que éstos quedan a disposición del constructor.

Las piezas deben ser unidas con soldadura especial para aluminios como se recomienda anteriormente, a excepción de las puertas de las cámaras, las cuales llevan bisagras dando la posibilidad de abrirlas de una manera mas comoda.

Es necesario tener todas las piezas listas a la hora del ensamblaje,men caso de que se manden a hacer algunas de las partes por separado o no se disponga de alguna parte en el sitio de construcción.

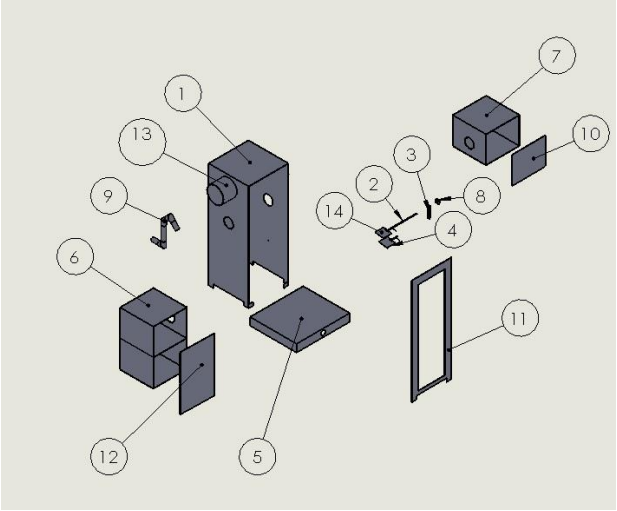
3.10.1 Pasos para el ensamblaje

1. Se debe unir la cámara principal a la base, la cámara debe ir centrada, dejando un margen igual a ambos lados como en la parte trasera y delantera. Es recomendable unir estas piezas mediante soldadura para aluminio.
2. A la cámara debe soldarse un ducto de ventilación que que incluya un dámper en su interior, el cual es de suma importancia, pues de no tenerlo la prueba no será valida ya que el humo se escaparía y la densidad sería menor. Posteriormente se debe instalar el extractor a dicho ducto, y en el caso de estar en un recinto cerrado, al extractor se le debe añadir un ducto chimenea que dirija los humos a la parte exterior del lugar .
3. Las cámaras laterales deben ir soldadas a la cabina principal, teniendo en cuenta que los agujeros circulares deben quedar concentricos en ambos lados para permitir el paso de luz de un lado al otro de la cabina. Deben ser colocadas de la forma que se muestra en la figura 27.
4. Las puertas laterales y central deben unirse mediante bisagras, se recomienda para la cámara izquierda que la bisagra esté ubicada al costado izquierdo de la parte frontal de la cámara, mientras que para la cámara central y derecha, la bisagra debe ir ubicada en el costado derecho de esta. Como se muestra en la figura 27
5. El soporte de la muestra debe ir unido a la varilla de soporte mediante soldadura o elementos de sujeción , ademas dicha varilla debe tener una perilla o mango en la parte exterior, la cual facilitará despojar los residuos del polímero al girar el soporte a posición vertical.
6. La placa de asbestos debe ir unida a una varilla de soporte de igual manera que el soporte de la muestra, ademas debe tener una conexión mediante un mecanismo que permita que las dos placas giren al mismo tiempo , pues al terminar la prueba, tanto los asbestos como el soporte de muestra deben quedar completamente limpios de residuos.
7. Al tener conectadas las piezas 14,2,3 y 4 se acoplan a la cámara principal, respetando la medida de la varilla de soporte de muestra dentro de la cámara, se procede a introducir ésta al agujero ubicado debajo de la cámara lateral derecha y por ultimo acoplando la varilla a la perilla o mango. La varilla principal (soporte de muestra) debe ajustarse a la cabina con un eje flotante que tenga un diámetro igual o mayor al de la varilla y este deberá ir empotrado a la cabina, de otra manera la varilla por su propio peso tendería a caerse o girar en momentos no deseados.
8. Por último debe instalarse el sistema de ignición, es necesario que se instale por personal calificado para el manejo de elementos inflamables.

9. El quemador se conecta a una manguera, esta debe llevar una abrazadera de seguridad con el fin de evitar fugas.
10. La mangera debe conectarse a un regulador de presión, y a su vez debe conectarse al tanque de gas como se muestra en la figura 12.

NOTA: La conexión de los instrumentos de medición y partes electrónicas queda a disposición del constructor, pues se deben tener en cuenta factores que no se incluyen en el diseño como lo son longitudes de cablería, metodos de conexión, posición de interruptores y otras cualidades que cada persona tendrá en cuenta desde su perspectiva estética.

Figura 26 Vista explosionada del dispositivo



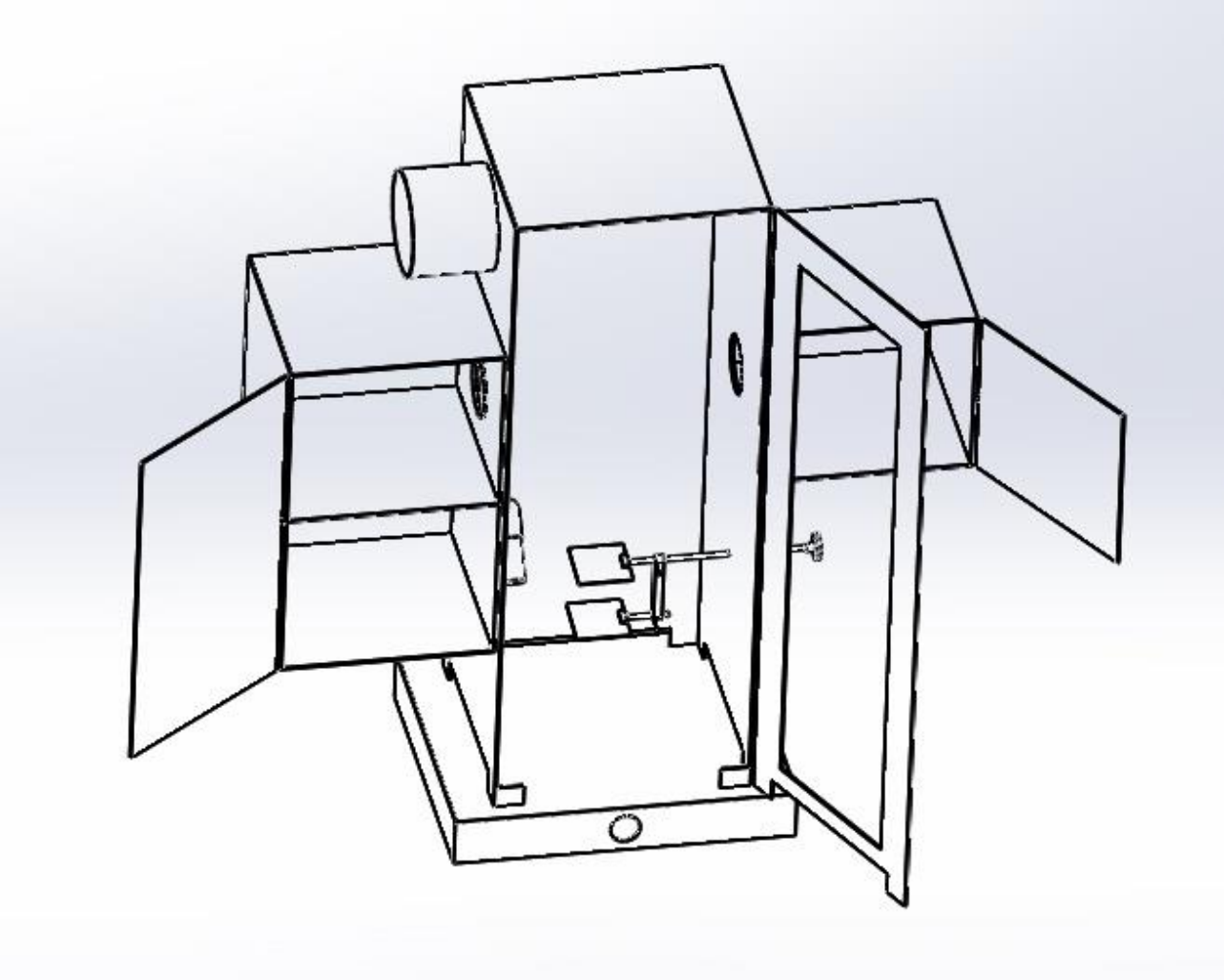
Fuente: El Autor.

Tabla 10. Partes del dispositivo

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Cámara	1
2	Varilla de soporte	1
3	Conector de soportes	1
4	Asbesto	1
5	Base	1
6	Cámara Izquierda	1
7	Cámara derecha	1
8	Perilla	1
9	Quemador	1
10	Puerta lateral derecha	1
11	Puerta Cámara	1
12	Puerta lateral izquierda	1
13	Salida Extractor	1
14	Soporte de muestra	1

Fuente: El Autor

Figura 27 Configuración propuesta de puertas



Fuente: El Autor

En este punto se da por concluido el diseño, ya se conoce en su totalidad que materiales podrán ser utilizados para su construcción, los elementos necesarios para su funcionamiento y todas las cualidades que debe tener el dispositivo para ser completamente funcional.

Como se ha venido diciendo en el desarrollo del proyecto, el diseño final se debe acomodar a la perspectiva del constructor, pues también es valedero su punto de vista y metodos de manejo para ubicar adecuadamente los instrumentos en el interior del aparato.

4 COSTOS DE FABRICACIÓN DEL EQUIPO

Para este proyecto se tuvo en cuenta el posible dinero que se debe invertir para la construcción del dispositivo. En la actualidad existen empresas que fabrican y venden aparatos con la capacidad de medir la densidad de humo generada por quema de polímeros, además de utilizar la mejor tecnología posible y los estándares de calidad más altos. Es por ese motivo que se decidió investigar un poco sobre el valor de dichos aparatos. El autor del proyecto se tomó la labor de enviar correos cotizando dichas máquinas, principalmente fabricadas en la India por distintos proveedores, y aunque solamente una de las empresas respondió la cotización, basta para tener una base de los costos a los que debe atenerse alguien interesado en obtener este dispositivo. El valor por unidad, sin envío incluido es de $ 1661,0 USD + $185,0 USD de la impresora digital que debe conectarse para graficar las mediciones de tiempo versus absorción. Esto se puede ver en detalle en el anexo H. Esta cotización se hizo en el mes de marzo del 2016 teniendo un valor aproximado del dólar de $ 3150 COP, dando como resultado un valor de 5’814.000 (cinco millones ochocientos catorce mil pesos) + gastos de envío.

Al ver el elevado costo de este aparato se hace la siguiente tabla de los principales elementos que componen el dispositivo a construir, generando un valor aproximado de la cantidad de dinero necesaria para construir en Colombia dicho dispositivo, además debe agregarse un valor generado por la mano de obra, que es muy importante en este caso debido a que el dispositivo se va a construir desde cero y no se cuenta con ninguna matriz o pre diseño antes utilizado para construcción de cámaras similares. Se hizo una averiguación obteniedo los precios mostrados en la tabla 11. De la cual se obtuvo lo siguiente:

Tabla 11. Tabla de precios.

Elemento	Cantidad	Precio C/U*	Precio total COP
Aluminio	1,8 m2	45000	81000
Rejilla de soporte	1 pieza	13000	13000
Asbestos	2 piezas	6000	12000
Ventilador	1 pieza	35000	35000
Fotodiodo	1 pieza	9000	9000
Amplificador operacional	1 pieza	27000	27000
Medidor numérico	1 pieza	32000	32000
Gas propano	1 tanque	35000	35000
Señal de salida	1 pieza	8000	8000
Recipiente de agua	1 pieza	5000	5000
Dámper	1 pieza	65000	65000
Bombillo	1 pieza	60000	60000
Termómetro	1 pieza	15000	15000

Temporizador	1 pieza	15000	15000
Quemador	1 pieza	30000	30000
Lente focal	1 pieza	150000	150000
Reflector esférico	1 pieza	20000	20000
Mano de obra construcción			250000
Mano de obra instalación Elect.			80000
		COSTO	942000

precios a fecha de febrero 2016*

Fuente: El autor

Es notablemente la variación de precios teniendo como referencia un aparato con todos los avances tecnológicos comparado con el diseño a construir, sin dejar de tener en cuenta que a este diseño se le pueden hacer mejoras, tanto físicas como operacionales, y cabe la posibilidad de implementar partes con cualidades y capacidades mejores respecto a su función, lo cual aumentaría el precio final del producto.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal del proyecto el cual tenía como fin diseñar un sistema para medir la densidad de humos en quema y descomposición según la norma ASTM D2843-99
- Se lograron determinar todas las variables necesarias para un diseño seguro y confiable evitando cualquier tipo de riesgo o accidente.
- Se determinaron materiales y elementos apropiados, los cuales se propone utilizar en la posterior construcción del dispositivo.
- Se calcularon variables necesarias para el diseño, enseñando así unos parámetros útiles a la hora de su construcción.
- El dispositivo contará con sus respectivos manuales de operación, mantenimiento y uso dando al usuario unas condiciones de operación favorables y prolongando la vida de uso de los elementos presentes en este aparato.
- El diseño cuenta con acabados estéticos y buena apariencia, todo esto teniendo en cuenta la norma ASTM 2843-99.
- Para este diseño se hizo un análisis de costos comparado con el valor de un dispositivo similar que cumple con la misma función, determinando que el valor final es mas bajo y su construcción más económica.
- Se añadió una guía de manejo del dispositivo para el laboratorio de la universidad, Dando posibilidad a los estudiantes de hacer pruebas y complementar su conocimiento en diferentes asignaturas que estén relacionadas con el manejo de humos, densidades, presiones, flujos de aire, temperatura, etc.
- El Dispositivo podrá ser mejorado en tecnología y operación teniendo en cuenta los elementos utilizados para su construcción, pues en este caso se propone reducir costos sin dejar a un lado la posibilidad de cambio en algunos elementos.

De la experiencia lograda durante el desarrollo de este proyecto, se adquirieron conocimientos de gran valor teóricos y práctico, como fueron:

- En el área de materiales al conocer las propiedades de diferentes materiales necesarios para la construcción de la cámara, la influencia y la aplicación de los ensayos de medición de densidad de humos.
- El trabajo con polímeros y sus aplicaciones.
- En el manejo de catálogos para la correcta selección de equipos, teniendo en cuenta las características de cada uno y las aplicaciones que se le darían en este proyecto.
- Interpretación y manejo de normas ASTM, ICONTEC y otras.
- Elaboración de planos, esquemas y diagramas por medio de programas de computación y ayudas tecnológicas.

- Temas relacionados con la seguridad industrial.
- Elaboración de instructivos como la elaboración de manuales de operación, seguridad y mantenimiento.
- Manejo de costos y presupuestos

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario leer el documento completo antes de empezar con la etapa de construcción del dispositivo, pues se deben tener en cuenta todos los puntos del diseño y analizar si es viable la construcción.
- Se recomienda leer los manuales antes del uso del dispositivo, se debe evitar cualquier tipo de accidente que cause daños o lecciones a personas y objetos.
- Este dispositivo puede ser ampliado en el futuro, midiendo densidades de materiales diferentes a polímeros, haciendo sus respectivos estudios se podrá aumentar la capacidad de medición de densidades para maderas, telas, plásticos, cauchos, biodegradables, organicos, etc.
- Analizar las capacidades económicas del constructor para incluir materiales con mejores cualidades físicas y de resistencia, Instrumentación que provea mayor resolución y exactitud, Elementos que influyan en una mejor y mas fácil operación del dispositivo, etc.

BIBLIOGRAFÍA

ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.

ASTM D2843- Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of plastics 1999. American Society for testing materials.

ASTM E662- Optical Density of Smoke. American Society for testing materials.

CALVO, Erwin. ARIAS, Carlos, OCHOA, José. “Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión. Trabajo universitario, 150 p. disponible en: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/52

CENGEL, Yunus. BOLES, Michael. “Termodinámica” 6ta Edición. Mc Graw-Hill México, 2008.

CENGEL, Yunus. “Transferencia de Calor y Masa, Un enfoque más practico” 3ra Edición. MC Graw-Hill México, 2007.

CHAR-BROIL. Guía de producto “2 burner gas grill” modelo 465621215 2014, LLC, Columbus, GA.

FLIM R.A, y otro, “Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”, Mc graw–hill México, 1979.

MATAIX, Claudio. “Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da edición. Ediciones del Castillo, Madrid, 1986.

MOTT, Robert L, “Diseño de elementos de máquinas”. Pearson Educación, México, 2006.

MYSZKA, David H. “Máquinas y mecanismos” 4ta Edición. Pearson Educación, México, 2012.

NORTON, Robert L. “Diseño de maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos” 4ta Edición. . MC Graw-Hill México, 2009.

Wikipedia contributors. Polímeros [online]. Wikipedia, The free Encyclopedia. [cited 2016, feb 22].